

**Міністерство освіти і науки України**  
**Державний вищий навчальний заклад**  
**«Національний гірничий університет»**

**Інститут електроенергетики  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

## дипломної роботи

**магістра**  
(ступінь підготовки)

галузь знань	17 Електроніка та телекомунікації (шифр і назва галузі знань)
напрямок підготовки (спеціальність)	172 Телекомунікації та радіотехніка (код і назва напрямку підготовки)
спеціалізація (освітня програма)	Телекомунікаційні системи та мережі (код і назва спеціальності)
ступінь підготовки	магістр (назва освітнього рівня)
кваліфікація	Професіонал в галузі електроніки та телекомунікацій (код і назва кваліфікації)

на тему: Вдосконалення алгоритму розподілу піднесучих в системі мобільного зв'язку LTE

**Виконавець:** студент 6 курсу, групи 172м-16-1

**Колесник Артем Сергійович**

---

(прізвище ім'я по-батькові)

<b>Керівники</b>	<b>Прізвище, ініціали</b>	<b>Оцінка</b>	<b>Підпис</b>
<b>роботи</b>	<b>д.т.н., проф. Корнієнко В.І.</b>		
<b>розділів:</b>			
<b>спеціальний</b>	<b>д.т.н., проф. Корнієнко В.І.</b>		
<b>економічний</b>	<b>к.е.н., доц. Романюк Н.М.</b>		

Рецензент			
Нормоконтроль	к.ф.-м.н., доц. Гусев О.Ю.		

**Дніпро  
2018**

Міністерство освіти і науки України  
Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет»

Інститут електроенергетики  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри  
безпеки інформації та телекомунікацій  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
на виконання кваліфікаційної роботи магістра

напряму підготовки  
(спеціальності)

*172 Телекомунікації та радіотехніка*

(код і назва спеціальності)

студенту

*172м-16-1*

(група)

*Колеснику Артему Сергійовичу*

(прізвище ім'я по-батькові)

Тема дипломної роботи

*Вдосконалення алгоритму розподілу піднесучих в системі мобільного зв'язку LTE*

**1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ**

Наказ ректора Державного ВНЗ «НГУ» від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

**2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ**

Об'єкт досліджень *розподіл піднесучих в стільниковій системі довготермінової еволюції (LTE)*

Предмет досліджень *алгоритми розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE).*

Мета НДР *синтез алгоритму розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE), що забезпечує зменшення часу пошуку чарунки.*

Вихідні дані для проведення роботи *Для спрощення процедур пошуку чарунки та синхронізації абонентського устаткування використовуються відповідні сигнали різних піднесучих.*

### 3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна полягає в розробці алгоритму розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE), що забезпечує зменшення часу пошуку чарунки

Практична цінність синтезований алгоритм розподілу піднесучих в стільниковій системі LTE забезпечує зменшення часу пошуку чарунки

### 4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Дати рекомендації щодо застосування алгоритм розподілу піднесучих, що враховує кореляцію синхросигналів і забезпечує зменшення часу пошуку чарунки і таким чином дозволяє підвищити пропускну спроможність системи зв'язку

### 5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Огляд джерел за темою та напрям досліджень	18.09.17-06.10.17
Методи досліджень	07.10.17-24.11.17
Результати досліджень	25.11.17-15.12.17
Виконання економічного розділу	16.12.17-29.12.17
Оформлення пояснювальної записки	30.12.17-10.01.18

### 6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект проведений розрахунок капітальних витрат на удосконалення алгоритму розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE).

Соціальний ефект застосування вдосконаленого алгоритму дозволяє покращити якість зв'язку між абонентами

### 7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Завдання видав \_\_\_\_\_  
(підпис)

Корнієнко В.І.  
(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв  
до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис)

Колесник А.С.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 01.09.17р.

Термін подання дипломної роботи до ДЕК 16.01.18р.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: \_\_\_ с., \_\_\_рис., \_\_\_ табл., \_\_\_ додатків, \_\_\_ джерел.

Об'єкт дослідження: розподіл піднесучих в стільниковій системі довготермінової еволюції (LTE).

Предмет дослідження: алгоритми розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE).

Мета дипломної роботи: синтез алгоритму розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE).

У першому розділі розглянуті технології мультиплексування з ортогональним частотним розділенням (OFDM), послуга широкомовної передачі (MBMS), а також операція «одночастотної мережі» (SFN).

У другому розділі роботи розглянуті існуючі методи ідентифікації абонента у чарунці. Розроблений синтез алгоритму розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE).

В економічній частині проведений розрахунок капітальних витрат на удосконалення алгоритму розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE).

Наукова новизна полягає в розробці алгоритму розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE), що забезпечує зменшення часу пошуку чарунки.

СТІЛЬНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, МОБІЛЬНА СТАНЦІЯ, РОЗНЕСЕННЯ ПІДНЕСУЧИХ, МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ АБОНЕНТІВ, ЧАСТОТА.

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: \_\_\_\_стр., \_\_\_\_ рис., \_\_\_\_табл., \_\_\_\_ приложений, \_\_\_\_ источников.

Объект исследования: распределение поднесущих в сотовой системе долгосрочной эволюции (LTE).

Предмет исследования: алгоритмы распределения поднесущих в сотовой системе связи (LTE).

Цель дипломной работы: синтез алгоритма распределения поднесущих в сотовой системе связи (LTE).

В 1 разделе рассмотрены технологии мультиплексирования с ортогональным частотным разделением (OFDM), услуга ширококвещательной передачи (MBMS), операция «одночастотной сети» (SFN).

Во 2 разделе работы рассмотрены существующие методы идентификации абонента в соте. Разработан синтез алгоритма распределения поднесущих в сотовой системе связи (LTE).

В экономической части произведен расчет капитальных затрат на усовершенствование алгоритма распределения поднесущих в сотовой системе связи (LTE).

Научная новизна заключается в разработке алгоритма распределения поднесущих в сотовой системе связи (LTE), что уменьшает время поиска соты.

СОТОВАЯ СВЯЗЬ, МОБИЛЬНАЯ СТАНЦИЯ, РАЗНЕСЕНИЕ ПОДНЕСУЩИХ, МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ АБОНЕНТА, ЧАСТОТА.

## ABSTRACT

Explanatory note: \_\_\_\_ p., \_\_\_\_ fig., \_\_\_\_ tab., \_\_\_\_ additions, \_\_\_\_ sources.

The object of research: subcarrier allocation in cellular systems of long-term evolution (LTE).

The purpose of research: subcarrier allocation algorithm in a cellular communication system (LTE).

The aim of the thesis: synthesis of the algorithm for subcarrier allocation in a cellular communication system (LTE).

In the 1 part described technology of orthogonal frequency division (OFDM), the broadcast service (MBMS), and the operation «single frequency network» (SFN).

Existing methods for identifying the subscriber in the cell were examined in the 2 part. Synthesis algorithm for allocating subcarriers in a cellular communication system (LTE) was developed.

Payment of capital expenditures to improve the algorithm allocating subcarriers in a cellular communication system (LTE) was held in the economic part of the work.

Scientific novelty of the results that are expected, is to develop an algorithm of subcarrier allocation in a cellular communication system (LTE), which would reduce the search time of the cell.

CELLULAR, MOBILE STATION, THE DIVERSITY OF SUBCARRIERS  
THE SUBSCRIBER'S LOCATION, FREQUENCY.

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AAA – Authentication Authorization Accounting;  
AIPN – All over IP Network;  
BMSC – Broadcast Multimedia Service Center;  
BSIC – Base Station Identity Code;  
COFDM – Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing;  
DVB-T – Digital Video Broadcast–Terrestrial;  
EDGE – Enhanced Data rates for GSM Evolution;  
EIR – Equipment Identity Register;  
eNB – evolved Node B;  
EPC – Evolved Packed Core;  
GERAN – GSM EDGE Radio Access Network;  
GMM – Generalized Method of Moments;  
GPRS – General Packet Radio Service;  
GPS – Global Positioning System;  
GSM – Global System for Mobile;  
HRL – Handover Restriction List;  
IASA – Inter Access System Anchor;  
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers;  
IFFT – Inverse fast Fourier transform;  
IP – Internet Protocol;  
ISI – Inter Symbol Interference;  
MBMS – Multimedia Broadcast Multicast Service;  
MCC – Mobile Country Code;  
MMS – Multimedia Message Service;  
MNC – Mobile Network Code;  
MSIN – Mobile Subscriber Identification Number;  
OFDM – Orthogonal Frequency-Division Multiplexing;  
P-TMSI – Packet Temporary Mobile Subscriber Identity;

QPSK – Quadrature Phase Shift Keying;  
RAT – Radio Access Technologies;  
RAU – Routing Area Update;  
RFSP – RAT Frequency Selection Priority;  
SFN – Single Frequency Network;  
SGSN – Serving GPRS Support Node;  
SMS – Short Messaging Service;  
SRVCC – Single Radio Voice Call Continuity;  
TA – Tracking Area;  
TAL – Tracking Area List;  
TAU – Tracking Area Update;  
3GPP – Third Generation Partnership Project;  
UMTS – Universal Mobile Telecommunication System;  
USIM – Universal Subscriber Identity Module;  
UTRAN – UMTS Terrestrial Radio Access;  
VLR – Visitor Location Registry;  
VoIP – Voice over IP;  
WCDMA – Wideband Code Division Multiple Access;  
Wi-Fi – Wireless Fidelity;  
WLAN – Wireless Local Area Network;  
БС – Базова станція;  
ВВ – Вогнегасник вуглекислий;  
ВП – Вогнегасник порошковий;  
ВХП – Вогнегасник хімічний пінний;  
ЕМВ – Електронно-магнітне випромінювання;  
ЕОМ – Електронна обчислювальна машина;  
ЕСП – Електростатичне поле;  
ПДП – Портативний дихальний пристрій;  
ПЕОМ – Персональна електронно-обчислювальна машина;  
ПУЕ – Правила улаштування електроустановок.



## ЗМІСТ

с.

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРИ МЕРЕЖІ LTE .....	9
1.1 Актуальність проблеми .....	9
1.2 Особливості архітектури мережі LTE.....	10
1.2.1 Загальна структура мережі LTE.....	10
1.2.2 Функціональні відмінності мережі LTE від мережі UMTS .....	11
1.2.3 Основні протоколи і завдання управління інтерфейсу S1 мережі LTE .....	12
1.3 Основні вимоги до архітектури мережі LTE.....	15
1.4 Архітектура базової мережі SAE.....	17
1.5 Основні функції базової мережі SAE.....	20
1.6 Технологія мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM).....	26
1.7 Система 3G LTE .....	31
1.8 Послуга широкомовної/групової передачі (MBMS) .....	33
1.9 Операція «одночастотної мережі» (SFN).....	34
1.10 Висновок. Постановка задачі .....	37
РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ РОЗПОДІЛУ ПІДНЕСУЧИХ В СИСТЕМІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ LTE .....	39
2.1 Ідентифікація мобільних абонентів.....	39
2.1.1 Структура унікального міжнародного ідентифікатора абонента (IMSI) ...	39
2.1.2 Структура часового унікального ідентифікатора абонента (TMSI) .....	40
2.1.3 Структура локального ідентифікатора абонента (LMSI).....	41
2.1.4 Структура часового ідентифікатора логічного каналу (TLLI) .....	41
2.1.5 Структура часового унікального пакетного ідентифікатора (P-TMSI) .....	42
2.1.6 Ідентифікатор зони розташування абонента (LAI).....	42
2.1.7 Ідентифікатор зони маршрутизації (RAI).....	43
2.1.8 Ідентифікатор базової станції .....	44

	7
2.1.9 Ідентифікатор регіональної зони роумінгу абонентів (RSZI) .....	45
2.1.10 Код місця розташування мобільного абонента .....	45
2.2 Поліпшений метод рознесення піднесучих в стільниковій системі зв'язку .	46
2.2.1 Варіанти використання алгоритму рознесення піднесучих.....	48
2.2.2 Алгоритм реалізації поліпшеного методу ідентифікації рознесення піднесучих .....	61
2.3 Опис імітаційної моделі «LTE Spreading and Modulation» .....	67
2.3.1 Вибір умов функціонування абонентської лінії та налаштування імітаційної моделі.....	69
2.3.2 Результати моделювання .....	72
2.4 Висновок .....	75
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	76
3.1 Особливості розробки алгоритму та моделювання .....	76
3.2 Визначення трудомісткості розробки алгоритму розподілу піднесучих в системі мобільного зв'язку LTE .....	77
3.3 Розрахунок витрат на розробку алгоритму .....	78
3.4 Висновок .....	82
ВИСНОВКИ.....	83
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	84
ДОДАТОК А .....	87
ДОДАТОК Б .....	88
ДОДАТОК В .....	89

## ВСТУП

Системи стільникового (мобільного) наземного радіозв'язку побудовані на трьох основах:

- подвійне використання радіочастот в комірки (соти);
- забезпечення безперервності зв'язку при переміщені абонента із комірки (соти) в комірку (соту) (хендовер);
- визначення місцеположення мобільної станції в мережі мобільного зв'язку та ідентифікація абонента.

На цих принципах базуються системи стільникового зв'язку першого (1G) та другого (2G) поколінь. Для систем зв'язку третього покоління (3G) принцип повторного використання радіочастот суміщений з принципом повторного використання кодів – псевдовипадкових послідовностей, які забезпечують кодове розділення каналів зв'язку (CDMA).

В усіх поколіннях систем мобільного зв'язку функції визначення місцезнаходження абонентів являються одними із головних. Система мобільного зв'язку повинна постійно отримувати інформацію про місцеположення мобільної станції, щоб забезпечити їй доставку виклику від іншого абонента. В існуючих стандартах мобільного зв'язку місцеположення абонента визначає сама система, при цьому точність визначення змінюється від десятків метрів до кілометрів.

Для розвитку послуг нового покоління, пов'язаних зі зменшенням часу пошуку чарунки, необхідно розробляти нові алгоритми розподілу піднесучих у системах стільникового зв'язку.

Необхідно введення нових методів визначення місцеположення мобільного абонента заснованих на додаткових можливостях системи стільникового зв'язку.

## РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРИ МЕРЕЖІ LTE

### 1.1 Актуальність проблеми

Дана удосконалена технологія відноситься до рознесення піднесучих в системах мобільного зв'язку, які використовують мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM) і, більш конкретно, до способів, що забезпечує роботу абонентського обладнання в системі для виявлення, які з безлічі можливих рознесення піднесучих в даний момент використовуються для зв'язку. Технічний результат – зменшення часу пошуку чарунки. Для цього система стільникового зв'язку, яка використовує OFDM у своєму радіоінтерфейсі, має можливість використання або першого рознесення піднесучих, або другого рознесення піднесучих. Те, яке з них використовується в даний момент, вказується за допомогою формування першого типу сигналу синхронізації у відповідь на використане в даний момент перше рознесення піднесучих і формування другого типу сигналу синхронізації у відповідь на використане в даний момент друге рознесення піднесучих. Будь-який із сформованих першого типу сигналу синхронізації і другого типу сигналу синхронізації передається. Для розрізнення між першим і другим типами сигналів синхронізації подання тимчасової області другого типу сигналу синхронізації включає в себе безліч екземплярів першого типу сигналу синхронізації.

У майбутній еволюції стандартів мобільного стільникового зв'язку, таких як GSM (Глобальна система мобільного зв'язку) і WCDMA (Широкосмуговий множинний доступ з кодовим поділом), можливо, з'являться нові методи передачі, подібні OFDM. Крім того, для того щоб мати згладжений перехід від існуючих стільникових систем до нової системи з високою продуктивністю і високою швидкістю передачі даних в існуючому радіоспектрі, нова система повинна мати можливість діяти в динамічно змінюваній ширині смуги. Поліпшеним варіантом для подібної нової гнучкої стільникової системи є 3G, LTE, яке можна розглядати як еволюцію стандарту 3G WCDMA. OFDM буде

використовуватися в цій системі в методі, званому OFDM множинним доступом (OFDMA), щоб дозволити численним користувачам спільно використовувати доступ до радіоспектру в низхідній лінії зв'язку. Система може працювати в смугах шириною від 1,25 до 20 МГц. Крім того, швидкості передачі даних до 100 Мбіт/с підтримуються на максимальній ширині смуги [1].

## 1.2 Особливості архітектури мережі LTE

### 1.2.1 Загальна структура мережі LTE

Створення конкурентної технології побудови мереж мобільного зв'язку на основі мережі мобільного зв'язку WiMAX (стандарт IEEE 802.16e) активізувало зусилля учасників проекту 3GPP з розробки на основі технології OFDM еволюційного варіанту мережі UMTS, названого LTE. Мережа LTE складається з двох найважливіших компонентів: мережі радіодоступу E-UTRAN і базової мережі SAE (System Architecture Evolution) (рис. 1.1).

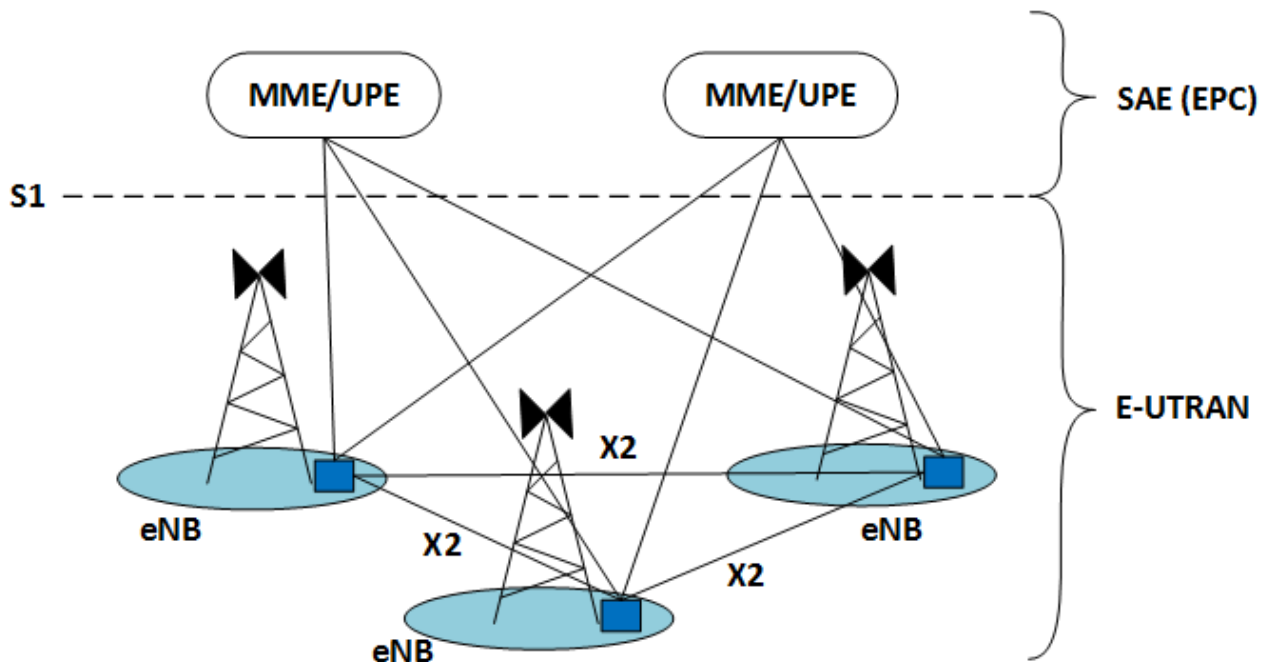
Основними вимогами проекту 3GPP до мережі SAE були: максимально можливе спрощення структури мережі і виключення дублюючих функцій мережевих протоколів, характерних для системи UMTS.

Мережа радіодоступу E-UTRAN розглянута в ряді технічних специфікацій, згідно з якими вона складається тільки з базових станцій eNB (evolved Node B). Базові станції eNB є елементами мережі E-UTRAN і з'єднані між собою за принципом «кожен з кожним» за допомогою інтерфейсу X2. Інтерфейс X2 підтримує хендовер мобільного терміналу в стані LTE ACTIVE.

Кожна базова станція має інтерфейс S1 з базовою мережею SAE, побудованої за принципом комутації пакетів. Базова мережа SAE, іноді звана мережею EPC (Evolved Packet Core), містить вузли MME/UPE, що складаються з логічних елементів MME і UPE.

Логічний елемент MME (Mobility Management Entity) відповідає за вирішення завдань управління мобільністю абонентського терміналу і взаємодіє з базовими станціями eNB мережі E-UTRAN за допомогою протокола

площини управління C-plane (інтерфейс S1-C). Логічний елемент UPE (User Plane Entity) відповідає за передачу даних користувачів відповідно до протоколів площини користувача U- plane і взаємодіє з eNB за допомогою інтерфейсу S1-U.



*Рисунок 1.1 - Взаємодія мережі радіодоступу E-UTRAN і базової мережі SAE*

Завдяки інтерфейсу S1 базові станції з'єднані з кількома вузлами MME/UPE, що дозволяє більш гнучко використовувати мережевий ресурс. Такий інтерфейс називають S1-flex.

### 1.2.2 Функціональні відмінності мережі LTE від мережі UMTS

Мережа LTE має наступні функціональні відмінності від мережі UMTS.

1 Базові станції eNB виконують функції управління радіоресурсами (Radio Resource Management-RRM ): управління радіоканалами (Radio Bearer Control), управління доступом (Radio Admission Control), управління мобільністю (Connection Mobility Control), динамічний розподіл ресурсів

(Dynamic Resource Allocation). Таким чином, в мережі радіодоступу E-UTRAN базові станції eNB управляють протоколами радіоінтерфейсу, комбінуючи виконання функцій базових станцій Node B і більшість функцій контролера RNC мережі UMTS.

2 Мережевий елемент управління мобільністю MME відповідає за розподілення повідомлень виклику (paging) до базових станцій eNB. Крім того, MME управляє протоколами площини управління: забезпечення безпеки мережі, перевірки автентичності повідомлень абонентів та управління роумінгом.

3 Мережевий елемент площини користувача UPE виконує стиснення IP-протоколів, шифрування потоків даних, термінацію пакетів даних площини користувача, комутацію пакетів даних при забезпеченні мобільності користувача. Крім того, UPE управляє протоколами користувача рівня, наприклад, зберіганням поточного статусу абонентського терміналу (AT), перериванням стану LET IDLE на рівні абонентських терміналів [2].

### 1.2.3 Основні протоколи і завдання управління інтерфейсу S1 мережі LTE

Основні протоколи інтерфейсу S1 площин C-plane і U-plane мережі LTE представлені на рисунку 1.2.

Одним з найважливіших завдань управління в мережі LTE є максимально ефективно використання радіоресурсів. Дане завдання вирішується за допомогою сукупності функцій управління радіоресурсами RRM (управління радіоресурсами мережі E-UTRAN, управління службою передачі даних в радіоканалі, управління мобільністю, управління доступом, динамічний розподіл ресурсів) і за допомогою протоколу управління радіоресурсами RRC.

Управління радіоресурсами мережі E-UTRAN (Inter Cell RRM) забезпечує управління ресурсами групи чарунок в цілях підвищення ефективності використання частотного спектра та мінімізації завадового взаємного впливу абонентських терміналів і базових станцій, а також підтримку мобільності.

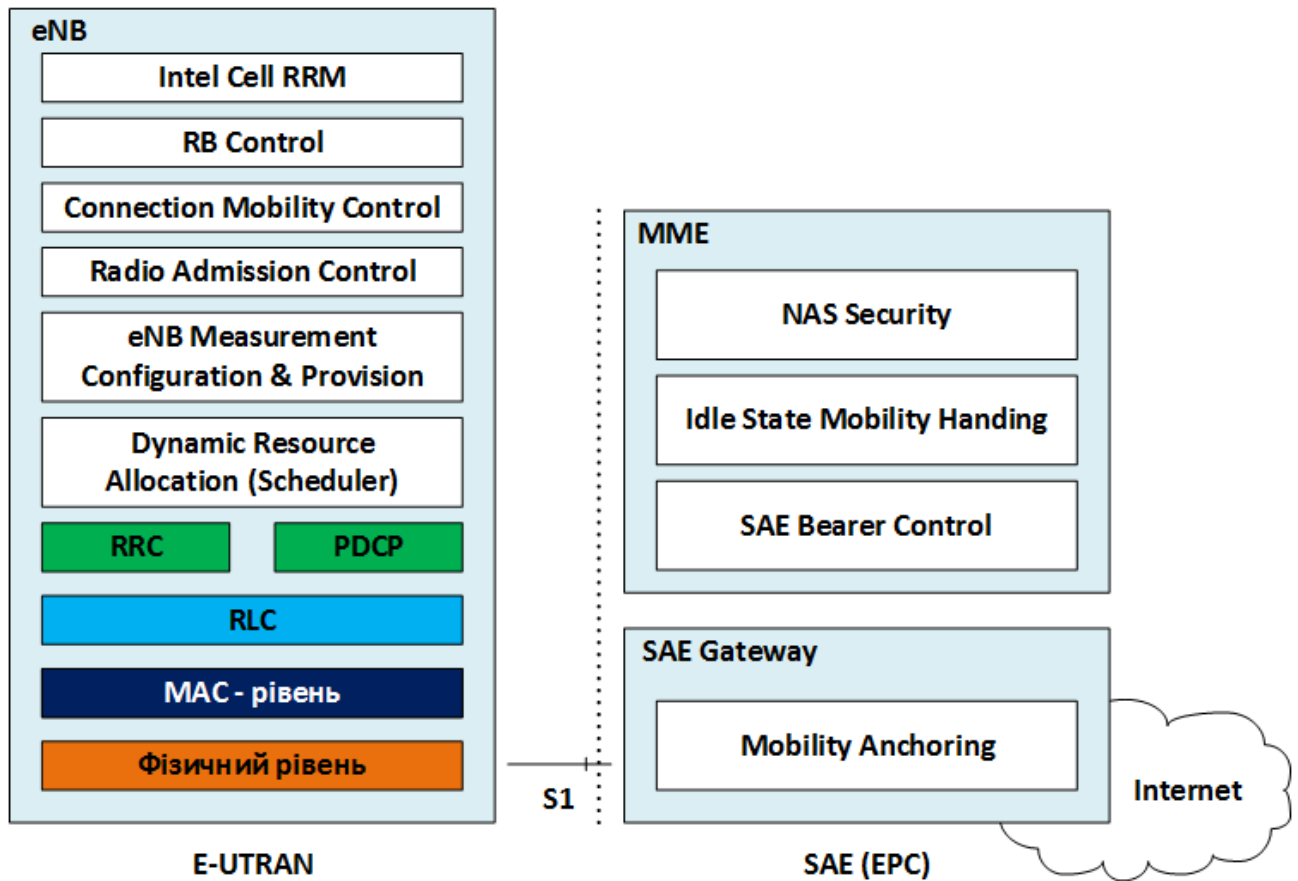


Рисунок 1.2 – Протоколи інтерфейсу S1 мережі LTE

Управління службою передачі даних в радіоканалі (RB Control) реалізовано в базових станціях eNB мережі E-UTRAN і забезпечує встановлення, підтримку і звільнення радіоканалів передачі даних із заданими параметрами в мережі E-UTRAN. Основними завданнями є контроль і управління всіма активними сесіями передачі даних з урахуванням параметрів якості послуг (QoS), виділення ресурсів для знову активізованих сесій.

Управління мобільністю (Connection Mobility Control) дозволяє вибрати обслуговуючу базову станцію eNB для мобільного терміналу, передавати обслуговування мобільного терміналу від однієї базової станції eNB (хендовер) до іншої. Вибір обслуговуючої eNB здійснюється мобільним терміналом на основі власних вимірювань в стані RRC CONNECTED. Хендовер реалізований на основі аналізу вимірювань, як мобільного терміналу, так і базової станції eNB, а також поточного завантаження обслуговуючої і сусідніх чарунок, політикою оператора з регулювання трафіку.



Підтримку мобільності абонентського терміналу в мережі SAE забезпечує логічний елемент MME. Основними функціями MME є:

- управління мобільністю абонентського терміналу, що знаходиться в стані RRC IDLE (Idle State Mobility Handling);
- управління безпекою мобільного зв'язку (NAS Security) відповідно до протоколів, що відносяться до групи протоколів «рівня без доступу» і забезпечують, наприклад, аутентифікацію користувачів, управління ключами шифрування даних;
- управління службою передачі даних мережі SAE (SAE Bearer Control).

Параметри функцій управління радіоресурсами мережі E-UTRAN (Inter Cell RRM), управління службою передачі даних в радіоканалі (RB Control) і управління мобільністю (Connection Mobility Control) можуть бути запроваджені відповідно до вимог оператора.

Основним завданням управління доступом (Radio Admission Control) є формування рішень про надання доступу мобільного терміналу до мережі E-UTRAN. Дане завдання вирішується на основі багатокритеріального аналізу завантаження мережі радіодоступу, вимог мобільного терміналу до параметрів QoS [2].

Динамічний розподіл ресурсів (Dynamic Resource Allocation) відповідає за планування черговості передачі пакетів даних і дозволяє динамічно виділяти і перерозподіляти ресурси мережі радіодоступу, включаючи каналні ресурси, потужність випромінювання базових станцій, ресурси буферизації при обробці пакетів даних з урахуванням параметрів QoS.

Протокол управління радіоресурсами RRC площини C-plane забезпечує:

- мовлення службової інформації відповідно до протоколів, що відносяться до груп протоколів «рівня з доступом» та «рівня без доступу»;
- пейджинг мобільного терміналу;
- встановлення, підтримання та закриття RRC-з'єднань між абонентським терміналом і мережею E-UTRAN;
- управління ключами шифрування;

- встановлення, підтримку і закриття служб передачі даних в радіоканалі
- (Radio Bearers) типу «крапка-крапка» і «крапка-багатокрапка» із заданими параметрами QoS;
- мобільність абонентських терміналів.

Крім того, протокол RRC забезпечує виконання ряду інших функцій. Протокол збіжності пакетних даних (Packet Data Convergence Protol – PDCP) площин U-plane і C-Plane забезпечує усунення надмірності (стиснення) службової інформації, обсяг якої може бути порівняний з об'ємом корисної інформації, переданої в пакетах даних, а також шифрування/дешифрування даних [2].

Протокол управління радіоканалом (Radio Link Control – RLC) забезпечує:

- сегментацію і компоновку пакетів даних протоколів більш високого рівня (Protocol Data Unit-PDU) змінної довжини в менші блоки корисного навантаження (Packet Unit-PU); розмір блоку PU визначається відповідно до швидкості передачі інформації в радіоканалі;
- конкатенцію (зчленування) коротких пакетів PDU верхнього рівня;
- заповнення залишку поля блоку PU, якщо зчленування неприйнятно;
- передачу даних користувача з підтвердженням прийому з відповідності з параметрами QoS;
- виправлення помилок методом повторної передачі ( ARQ ) пакетів даних;
- виявлення дублювання пакетів PDU для доставки їх на більш високий рівень лише один раз;
- управління швидкістю передачі даних;
- контроль порядкових номерів пакетів.

### 1.3 Основні вимоги до архітектури мережі LTE

Основні вимоги до архітектури мережі LTE можна узагальнити таким чином [3]:

1 Підтримка мереж радіодоступу як стандартів 3GPP, так і стандартів не – 3GPP. При цьому інформація про можливі технології доступу повинна передаватися на абонентський термінал із зазначенням пріоритетів технологій, встановлених оператором.

2 Повна сумісність базової мережі SAE з базовими мережами стандартів 3GPP.

3 Забезпечення мінімальних затримок передачі даних згідно протоколів площини управління C-plane. Наприклад, інтервал часу переходу мобільного терміналу зі стану Idle (термінал знаходиться в стані Attached протоколу GMM, виділена IP-адреса, термінал зареєстрований у підсистемі IMS) у стан початку прийому/передачі даних по протоколах U-plane повинно бути не більше 200 мс.

4 Чіткий функціональний розподіл між елементами мережі SAE, дозволяють уникнути додаткових затримок передачі даних згідно з протоколами C-plane через дублювання функцій.

5 Встановлення IP-з'єднання з індивідуальними параметрами QoS при мінімальній кількості транзакцій.

6 Функція управління мобільністю мережі LTE повинна вирішувати завдання управління мобільністю як в мережі E-UTRAN, так і між мережами E-UTRAN та мережами радіодоступу інших типів.

7 Функція управління мобільністю мережі LTE повинна взаємодіяти з терміналами різних типів.

8 Функція управління мобільністю мережі LTE повинна надавати оператору мережі LTE можливість управляти мережами доступу, використовуваними абонентами.

9 Процедури підтримки мобільності терміналів (хендовер) у мережах E-UTRAN, між мережами E-UTRAN та іншими мережами радіодоступу 3GPP, а також між мережами E-UTRAN/3GPP і мережами радіодоступу не-3GPP повинні бути реалізовані з мінімальною втратою пакетів даних в режимі реального часу і в режимі, інваріантному часу (наприклад, для перегляду web-ресурсу).

10 Процедура оновлення даних про місцезнаходження абонентського терміналу в мережі повинна забезпечувати мінімальне завантаження каналів сигналізації.

11 Архітектура мережі SAE повинна забезпечувати оптимальну маршрутизацію при знаходженні абонента в міжмережевому роумінгу.

12 З метою надання гнучкого доступу до мережі LTE користувачам, що знаходяться у роумінгу, архітектура мережі SAE повинна забезпечувати доступ через різні мережі бездротового широкосмугового доступу WLAN у відповідності з існуючими договорами доступу між оператором мережі VPLMN і візитними операторами мережі WLAN.

13 Підтримка IP- протоколів різних версій (IPv4 та IPv6), а також режиму мовлення IP- Multicast.

14 Забезпечення такого рівня безпеки користувачів (аутентифікація, ідентифікація, шифрування даних), який був би не нижче, ніж в існуючих мережах 3GPP з пакетною комутацією і комутацією каналів.

15 Доступ до мереж LTE повинен надаватися абонентам згідно умов доступу USIM-картками.

16 Підтримка всіх існуючих в даний час принципів тарифікації.

17 Архітектура SAE повинна забезпечувати гнучке використання ресурсів мережі, коли всі елементи мережі розглядаються як єдине розподілення ресурсів.

#### 1.4 Архітектура базової мережі SAE

Архітектура базової мережі SAE дозволяє здійснювати подальшу еволюцію мереж 3G в напрямку отримання більш високих швидкостей передачі даних, забезпечення низьких затримок, а також оптимізації передачі даних на основі різноманітних технологій радіодоступу. Основною відмінністю базової мережі SAE від базової мережі системи UMTS є максимально спрощена структура і відсутність дублюючих функцій мережевих протоколів.

Архітектура базової мережі SAE являє собою PS-домен системи LTE, який надає як голосові послуги, так і усю сукупність IP-послуг на основі технології пакетної комутації даних. В основу побудови базової мережі SAE покладена концепція «все через IP» (ALL-IP або AIPN - all over IP network). Доступ до базової мережі SAE може здійснюватися як через мережі радіодоступу другого і третього покоління (наприклад, мережі utran, geran), так і через мережі радіодоступу неєвропейських технологій, наприклад, мережі IEEE: WI-FI, WIMAX, а також через мережі, що використовують провідні IP-технології (наприклад, мережі ADSL+, FTTH та ін) [4].

Еталонна архітектура базової мережі SAE із зазначенням інтерфейсів взаємодії з зовнішніми мережами показана на рисунку 1.3.

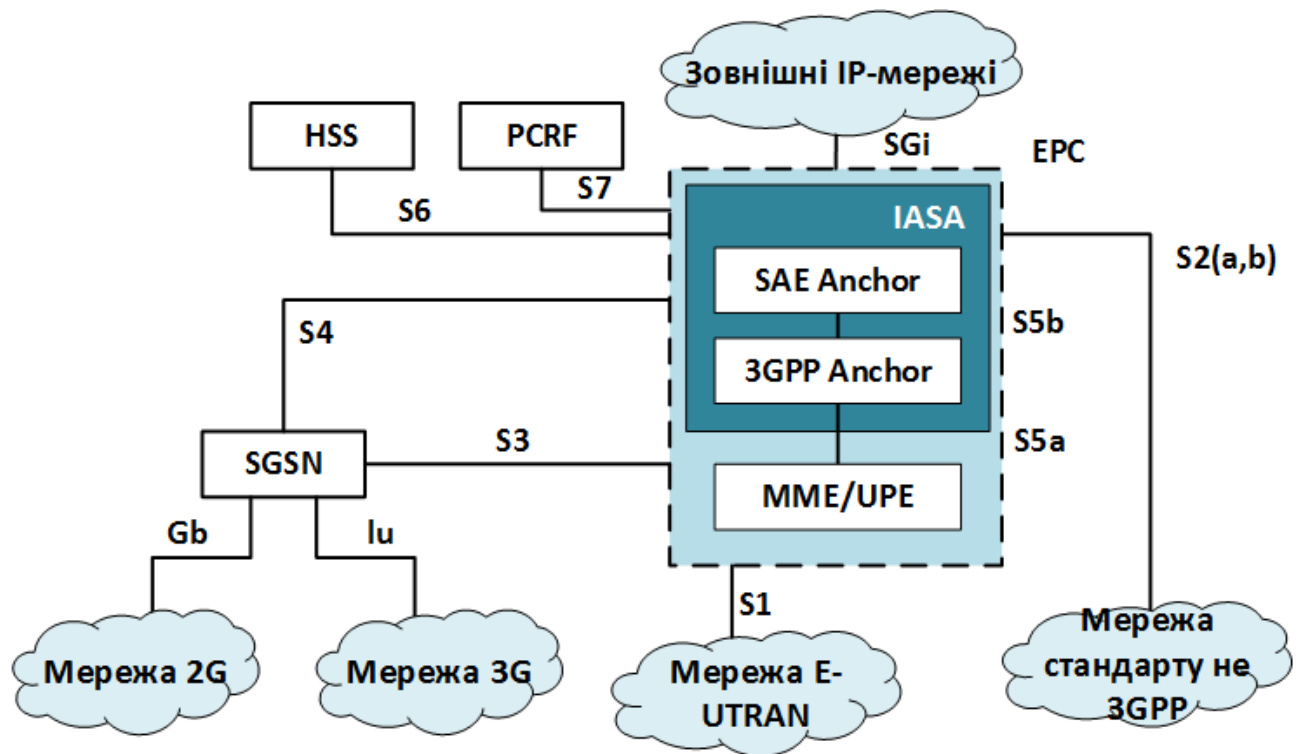


Рисунок 1.3 – Еталонна архітектура базової мережі SAE

Згідно цієї архітектури функції протоколів площини управління вузла SGSN мережі UMTS стають функціями елемента керування мобільністю MMO. Функції контролера RNC, які не виконує базова станція ENB мережі E-UTRAN, і функції протоколів площини користувача вузлів SGSN і GGSN реалізуються модулем UPE і шлюзовим вузлом «прив'язки» 3GPP anchor мережі SAE. Цей вузол призначений для приєднання мереж 2G/3G до мережі

LTE. До складу SAE входить також шлюзовий вузол прив'язки SAE anchor, який служить для приєднання до мережі sAe мереж стандартів 3GPP (GSM/UMTS). Вузли прив'язки 3GPP anchor і SAE anchor утворюють єдиний вузол прив'язки IASA (inter access system anchor) для приєднання зовнішніх IP-мереж. Сукупність логічних мережевих елементів MME/UPE, IASA, що складаються з вузлів SAE anchor і 3GPP anchor, утворює базову пакетну мережу (evolved packet core - EPC). Дані логічні елементи розглядалися в основному на початкових стадіях розробки стандартів мережі LTE. Більш детальні дослідження, спрямовані на практичну реалізацію архітектури EPC, визначили нові мережеві елементи: обслуговуючий шлюз S-GW (serving gw) і шлюз взаємодії з пакетними мережами P-GW (pdn gw), а також логічний елемент ММО, що функціонує окремо від елемента UPE. Шлюзи S-GW і P-GW фізично можуть бути реалізовані у складі одного мережевого елемента AGW (access GW). Опис основних інтерфейсів мережі SAE наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні інтерфейси мережі SAE

Інтерфейс	Опис інтерфейсу
S1	Інтерфейс, що надає доступ до мережі радіодоступу E-UTRAN для передачі даних протоколів площин користувача та управління. Дозволяє мати роздільну та комбіновану апаратну реалізацію елементів MME і UPE.
S2a	Інтерфейс між вузлом IASA і фіксованими IP-мережами стандарту не 3gpp. Забезпечує передачу даних протоколів площини користувача та підтримку функцій управління і мобільності. Включає в себе інтерфейси s2a, s2b, s2c.
S3	Інтерфейс між елементами MME/UPE і вузлом SGSN. Забезпечує управління міжмережовим хендовером абонентських терміналів в мережі E-UTRAN і UTRAN.
S4	Інтерфейс між вузлом 3GPP anchor і вузлом SGSN. Забезпечує передавання даних площини користувача та підтримку функцій управління і мобільності. Заснований на інтерфейсі GN між вузлами SGSN і GGSN мережі UMTS.
S5a	Інтерфейс між елементом MME/ UPE і вузлом 3GPP anchor. Забезпечує передачу даних протоколів площини користувача та підтримку функцій управління мобільності.

Продовження таблиці 1.1

Інтерфейс	Опис інтерфейсу
S5b	Інтерфейс між вузлами 3GPP anchor і SAE anchor. Забезпечує передачу даних протоколів площини користувача та підтримку функцій управління мобільності.
S6	Інтерфейс, що забезпечує доступ до домашньої бази даних користувачів (HSS) для аутентифікації і авторизації користувачів (інтерфейс AAA).
S7	Інтерфейс, що забезпечує управління встановленням сполук з заданими параметрами QOS на основі політики мережі і тарифікацію (policy and charging rules function-pcrf).
SGI	Інтерфейс між вузлом IASA і зовнішніми мережами з пакетною передачею даних. Ці мережі можуть належати різним операторам, так і одному оператору стільникового зв'язку для надання, наприклад, послуг підсистеми IMS. Цей інтерфейс заснований на інтерфейсі GI між вузлами GGSN і зовнішніми IP-мережами.

### 1.5 Основні функції базової мережі SAE

У переліку функціональних можливостей базової мережі SAE можна виділити кілька основних функцій:

- управління доступом в мережа (Network Access Control);
- маршрутизація і транспортування пакетів даних (Packet Routing and Transfer);
- управління мобільністю абонентського терміналу (Mobility Management);
- забезпечення безпеки (Security);
- управління радіоресурсами мережі (Radio Resource Management);
- управління мережею (Network Management);
- вибір функціональних елементів мережі;
- функції, пов'язані з використанням у мережі IP-протоколу.

Кожна з цих функцій може включати в себе кілька приватних функцій.

Функція управління доступом в мережу. За допомогою даної функції абонентський термінал приєднується до базової мережі SAE. При цьому виконується ряд приватних функцій, представлених нижче [5].

Функція вибору мережі доступу дає можливість абонентському терміналу вибирати мережу мобільного зв'язку або мережу доступу, за допомогою якої буде здійснюватися IP-з'єднання абонентського терміналу з сервісними платформами (серверами додатків). Вибір мережі доступу залежить насамперед від використовуваних цими мережами технологій.

Функція аутентифікації та авторизації дозволяє перевірити справжність абонента, визначити доступність мережевих послуг абоненту згідно з його профілем і виконати авторизацію мобільного терміналу абонента, наприклад призначити IP-адресу, виділити мережеві ресурси і активувати мережеву службу передачі даних.

Функція контролю доступу для визначення доступності запрошуваних ресурсів мережі та резервування цих ресурсів згідно запитів, які надійшли в цілях подальшого використання.

Функція застосування мережевих політик і правил тарифікації (PCEF) забезпечує управління наданням послуг абоненту у відповідності з необхідною якістю послуг і тарифікацію у відповідності з правилами, отриманими від функції PCRF білінгової системи.

Функція законного перехоплення повідомлень абонентів дозволяє надати уповноваженим державним організаціям доступ до приватної інформації (наприклад, телефонних розмов, переданими даними, повідомленнями SMS, MMS та електронної пошти). Дана функція реалізується оператором мережі LTE, так і провайдерами мережі доступу, провайдерами послуг.

Функція маршрутизації і транспортування пакетів даних. За допомогою функції маршрутизації здійснюється визначення маршруту передачі і транспортування пакетів даних як усередині однієї мережі мобільного зв'язку, так і між декількома мережами. Маршрут транспортування пакетів даних встановлюється на основі таблиць маршрутизації і являє собою перелік



мережевих вузлів: вихідний вузол, проміжні вузли і вузол призначення. Мережа SAE базується на IP-протоколі і внаслідок цього використовують стандартні механізми маршрутизації і транспортування даних IP-мереж.

При виконанні функції маршрутизації і транспортування пакетів даних реалізується ряд приватних функцій.

Функція стиснення IP-заголовка призначена для оптимізації використання пропускної здатності і ресурсів мережі радіодоступу за рахунок зменшення обсягу переданих службових даних шляхом застосування спеціальних механізмів стиснення IP-заголовка.

Функція перевірки (сканування) пакетів даних мережі дозволяє виконувати перевірку типу IP-адреси, використовуваного мобільним терміналом: адреси типу IPv4 або адреси типу IPv4 з префіксом IPv6-адреси або адреси типу IPv6.

Функція забезпечення безпеки. При виконанні функції забезпечення безпеки в мережі LTE вирішуються такі основні завдання:

- захист від несанкціонованого використання послуг мережі LTE з допомогою аутентифікації користувача та підтвердження можливості надання необхідної послуги;
- забезпечення конфіденційності аутентифікації абонента з допомогою використання тимчасових ідентифікаторів і ключів шифрування;
- забезпечення конфіденційності абонентських даних з допомогою шифрування;
- забезпечення аутентифікації даних, що передаються в повідомленнях сигналізації;
- забезпечення аутентифікації мережі мобільним терміналом;
- ідентифікація мобільного терміналу [5].

Розглянемо докладніше останню процедуру.

Ідентифікація мобільного терміналу виконується модулем управління мобільністю MME, та/або домашнім сервером абонентських даних HSS, та/або пакетним шлюзом P-GW з допомогою реєстра ідентифікації (Equipment Identity

Register - EIR) і призначена для автентифікації використовуваного обладнання мобільного терміналу. Перевірка справжності мобільного терміналу дозволяє виключити використання в мережі вкрадених або дефектних мобільних терміналів. Ідентифікація мобільного терміналу ініціюється модулем MME шляхом передачі міжнародного ідентифікатора мобільного терміналу IMEI реєстра ідентифікації EIR для подальшої перевірки автентичності терміналу, а потім аналізу відповіді реєстра EIR для виконання відповідної дії.

Процедура автентифікації мобільного терміналу UE показана на рисунку 1.4.

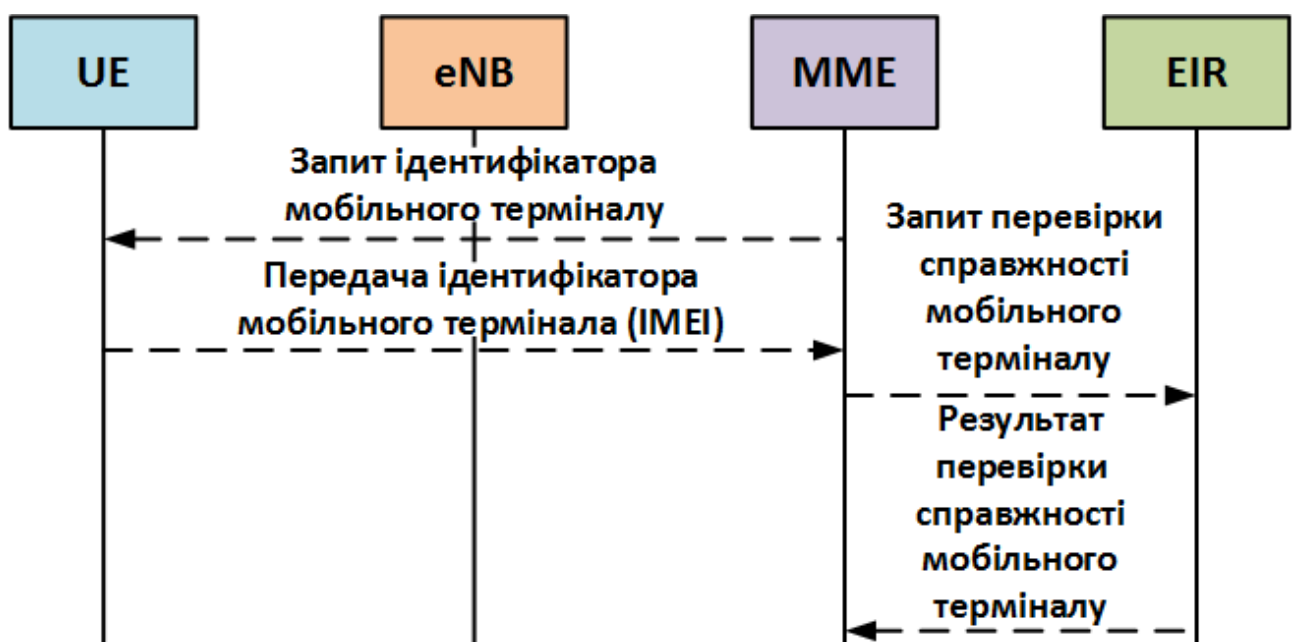


Рисунок 1.4 – Процедура автентифікації мобільного терміналу

Відзначимо особливість ідентифікації мобільного терміналу в умовах роумінгу. Ідентифікація мобільного терміналу виконується реєстром EIR домашньої мережі у випадках, коли візитна мережа отримує від мобільного терміналу запит на приєднання Initial Attach (за винятком випадку, коли запит Initial Attach пов'язаний з виконанням процедури хэндовера), а також у разі реалізації процедури оновлення даних про зону розташування мобільного терміналу (Tracking Area Update – TAU) в мережі E-UTRAN, якщо до цього мобільний термінал знаходився в мережі UTRAN/GERAN і обслужуючий його раніше вузол SGSN не надав дані про ідентифікацію мобільного терміналу.

Функція управління мобільністю. З допомогою цієї функції забезпечується відстеження розташування мобільного термінала в мережі UTRAN з точністю до однієї зони розташування термінала (Tracking Area - TA) або групи зон розташування згідно з переліком зон розташування (Tracking Area List - TAL). Функція включає в себе кілька приватних функцій.

Функція управління мобільністю термінала в режимі ECM-IDLE. Режим ECM-IDLE (EPS Connection Management IDLE) характеризується відсутністю активного з'єднання мобільного термінала з мережею LTE, при якому забезпечується передача пакетів даних користувача. В даному режимі розташування мобільного термінала в мережі E-UTRAN відомо модулю MMO з точністю до групи зон розташування згідно TAL [6].

Функція управління переліком зон місцезнаходження мобільного термінала в мережі E-UTRAN дозволяє базовій мережі SAE запам'ятовувати і актуалізувати не одну зону розташування мобільного термінала, а групу зон розташування в залежності від накопиченої статистики переміщення абонента, що в кінцевому рахунку дозволяє зменшити частоту виконання процедури оновлення даних про місцезнаходження TAU.

Функція управління хендовером в мережі E-UTRAN дозволяє забезпечити безперервність IP-сесії користувача при переміщенні мобільного термінала між базовими станціями eNB. Управління хендовером здійснюється мережевим елементом MMO, є функціональним модулем прив'язки внутрішньомережної мобільності (Inter-eNB Mobility Anchor).

Функція управління міжмережевим хендовером в мережах 3GPP дозволяє забезпечити безперервність IP-сесії користувача при переміщенні мобільного термінала між мережами 3GPP. Управління міжмережевим хендовером здійснюється мережевим елементом MMO, є функціональним модулем «прив'язки» міжмережевої мобільності (Inter-3GPP Mobility Anchor).

Функція обмеження мобільності дозволяє обмежити мобільність термінала і виконується наступними елементами мережі LTE: мобільним терміналом, мережею радіодоступу E-UTRAN і базовою мережею SAE.

Обмеження мобільності абонентського терміналу, що перебуває в режимі ECM - IDLE, реалізується мобільним терміналом на основі інформації, одержуваної від базової мережі SAE. Обмеження мобільності абонентського терміналу, що перебуває в режимі ECM-CONNECTED, виконується мережею радіодоступу E-UTRAN і базовою мережею SAE на основі переліку обмежень хендоверу (Handover Restriction List - HRL) [6].

Функція індикації підтримки мультимедійних мовних послуг підсистеми IMS виконується мережею мобільного зв'язку і дозволяє передавати мобільному терміналу ідентифікатор підтримки пакетної передачі мови за допомогою підсистеми IMS. Даний ідентифікатор передається в процесі виконання процедури приєднання мобільного терміналу до мережі LTE або в процесі виконання процедури TAU. Обслуговуюча мережа LTE надає індикацію на основі мережевих політик, а також підтримуваної схеми організації голосових викликів (Single Radio Voice Call Continuity - SRVCC).

Функція управління радіоресурсами мережі. Функція управління радіоресурсами пов'язана з розподілом ресурсів мережі E-UTRAN між мобільними терміналами. Стратегія мережі E-UTRAN з управління радіоресурсами ґрунтується на інформації про конкретних абонентів, мобільні термінали та додатки.

Для підтримки управління радіоресурсами в мережі E-UTRAN модуль MMO забезпечує передачу базової станції eNB через інтерфейс S1 параметра RFSP (RAT Frequency Selection Priority), який визначає пріоритет вибору радіотехнології і пріоритет вибору частоти. Параметр RFSP використовується базовою станцією для реалізації стратегії мережі по управлінню радіоресурсами. Значення параметра є індивідуальним для абонентського терміналу і використовується всіма службами обміну даних мережі радіодоступу E-UTRAN в наступних випадках [7]:

- для перевибору чарунки мобільними терміналами в режимі IDLE згідно із встановленим пріоритетом;

- для прийняття рішення щодо переведення мобільних терміналів, що знаходяться в активному режимі (active mode), на інші частотні канали або інші технології радіодоступу.

Функція перерозподілу навантаження між модулями ММО забезпечує можливість передавати обслуговування мобільного терміналу від одного ММО іншого в процесі обслуговування.

Функція управління перевантаженнями в модулі ММО визначає механізми, що дозволяють уникати виникнення перевантажень у мережі. Усунення перевантаження мережі досягається за допомогою повідомлень OVER-LOAD START, що передаються модулем ММО базовим станціям. За допомогою повідомлень OVERLOAD START модуль ММО може посылати на базову станцію наступні команди:

- відмовити у встановленні RRC-з'єднань мобільних терміналів, які запитують ресурси мережі (за винятком мобільних терміналів, що запитують ресурси мережі для виклику екстрених служб);
- відмовити у встановленні RRC-з'єднань мобільних терміналів, які запитують ресурси мережі для виконання процедур підтримки мобільності.

## 1.6 Технологія мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM)

Слід зазначити, що поширення сигналів у відкритому середовищі, яким є радіоефір, супроводжується виникненням різного роду перешкод, джерелом яких служать самі поширювані сигнали. Класичний приклад таких перешкод – ефект багатопроменевої інтерференції сигналів, що полягає в тому, що внаслідок багаторазових відбиттів сигналу від природних перепон один і той самий сигнал може потрапляти в приймач різними шляхами. Але подібні шляхи поширення мають і різні довжини, а тому для різних шляхів поширення ослаблення сигналу буде неоднаковим. Отже, в точці прийому результуючий сигнал представляє собою суперпозицію (інтерференцію) багатьох сигналів, які

мають різні амплітуди і зміщених відносно один одного у часі, що еквівалентно складання сигналів з різними фазами.

Наслідком багатопроменевої інтерференції є спотворення сигналу. Багатопроменева інтерференція властива будь-якому типу сигналів, але особливо вона негативно позначається на широкосмугових сигналах. Справа в тому, що при використанні широкосмугового сигналу в результаті інтерференції певні частоти складаються синфазно, що призводить до збільшення сигналу, а деякі, навпаки, – протифазно, викликаючи ослаблення сигналу на даній частоті.

Говорячи про багатопроменеву інтерференцію, що виникає при передачі сигналів, розрізняють два крайніх випадки. У першому випадку максимальна затримка між різними сигналами не перевищує часу тривалості одного символу і інтерференція виникає в межах одного переданого символу. У другому випадку максимальна затримка між різними сигналами більше тривалості одного символу, а в результаті інтерференції складаються сигнали, що представляють різні символи, і виникає так звана міжсимвольна інтерференція (Inter Symbol Interference - ISI).

Найбільш негативно на спотворення сигналу впливає міжсимвольна інтерференція. Оскільки символ – це дискретний стан сигналу, що характеризується значеннями несучої частоти, амплітуди і фази, то для різних символів змінюються амплітуда і фаза сигналу, тому відновити вихідний сигнал вкрай складно.

Щоб уникнути, а точніше, частково компенсувати ефект багатопроменевого розповсюдження, використовуються частотні еквайзери, проте у міру зростання швидкості передачі даних або за рахунок збільшення символної швидкості, або через ускладнення схеми кодування ефективність використання еквайзерів падає [8].

У стандарті 802.11b з максимальною швидкістю передачі 11 Мбіт/з при використанні CCK-кодів і QDPSK-модуляції схеми компенсації міжсимвольної

інтерференції цілком успішно справляються з покладеним на них завданням, але при більш високих швидкостях такий підхід стає неприйнятним.

Тому при більш високих швидкостях передачі застосовується принципово інший метод кодування даних, який полягає в тому, що потік переданих даних розподіляється по безлічі частотних підканалів і передача ведеться паралельно на всіх цих підканалах. При цьому висока швидкість передачі досягається саме за рахунок одночасної передачі даних по всіх каналах, а швидкість передачі в окремому підканалі може бути і невисокою.

Оскільки в кожному з частотних підканалів швидкість передачі даних можна зробити не занадто високою, це створює передумови для ефективного придушення міжсимвольної інтерференції.

При частотному розділенні каналів необхідно, щоб ширина окремого каналу була, з одного боку, досить вузькою для мінімізації спотворення сигналу в межах окремого каналу, а з іншого - досить широкою для забезпечення необхідної швидкості передачі. Крім того, для економного використання всієї смуги каналу, який розділяється на підканали, бажано як можна більш щільно розташувати частотні підканали, але при цьому уникнути міжканальної інтерференції, щоб забезпечити повну незалежність каналів один від одного. Частотні канали, що задовольняють перерахованим вимогам, називаються ортогональними. Несучі сигнали всіх частотних підканалів (а точніше, функції, що описують ці сигнали) ортогональні один одному.

Важливо, що, хоча самі частотні підканали можуть частково перекривати один одного, ортогональність несучих сигналів гарантує частотну незалежність каналів один від одного, а, отже, і відсутність міжканальної інтерференції (рисунки 1.5).

Розглянутий спосіб поділу широкосмугового каналу на ортогональні частотні підканали називається ортогональним частотним поділом з мультиплексуванням (OFDM). Для його реалізації в передавальних пристроях використовується зворотне швидке перетворення Фур'є (IFFT), що переводить мультиплексований сигнал з тимчасового подання в частотне (рисунки 1.6).

Однією з ключових переваг методу OFDM є поєднання високої швидкості передачі з ефективним протистоянням багатопроменевому поширенню.

Якщо говорити точніше, то сама по собі технологія OFDM не усуває багатопроменевому поширенню, але створює передумови для усунення ефекту міжсимвольної інтерференції [8].

Справа в тому, що невід'ємною частиною технології OFDM є охоронний інтервал (Guard Interval - GI).



*Рисунок 1.5 - Приклад частотних каналів, які перекриваються з ортогональними несучими*

Охоронний інтервал є надлишковою інформацією і в цьому сенсі знижує корисну (інформаційну) швидкість передачі, але саме він служить захистом від виникнення міжсимвольної інтерференції. Ця надлишкова інформація додається до пакета символу в передавачі та відкидається при прийомі символу в приймачі.

Наявність охоронного інтервалу створює тимчасові паузи між окремими символами, і якщо тривалість охоронного інтервалу перевищує максимальний час затримки сигналу в результаті багатопроменевому поширенню, то міжсимвольної інтерференції не виникає (рисунок 1.7). При використанні



технології OFDM тривалість охоронного інтервалу становить одну четверту тривалості самого символу.

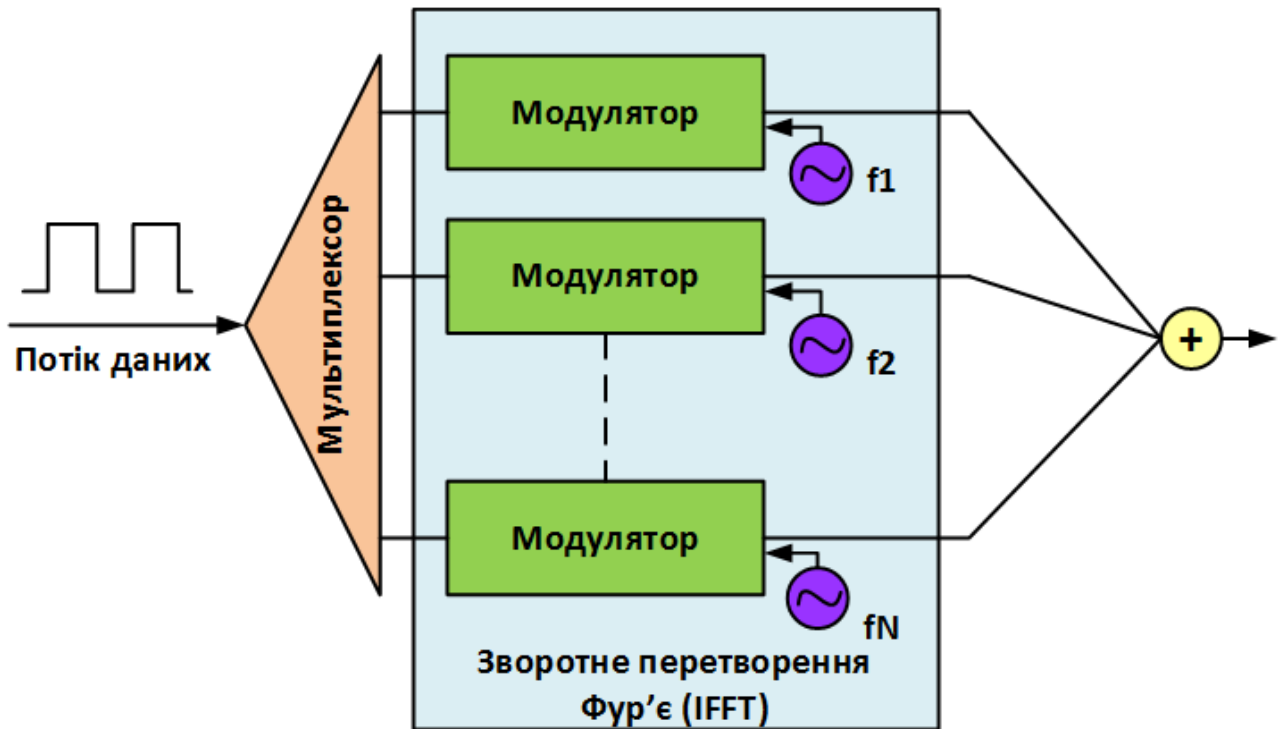


Рисунок 1.6 – Реалізація методу OFDM

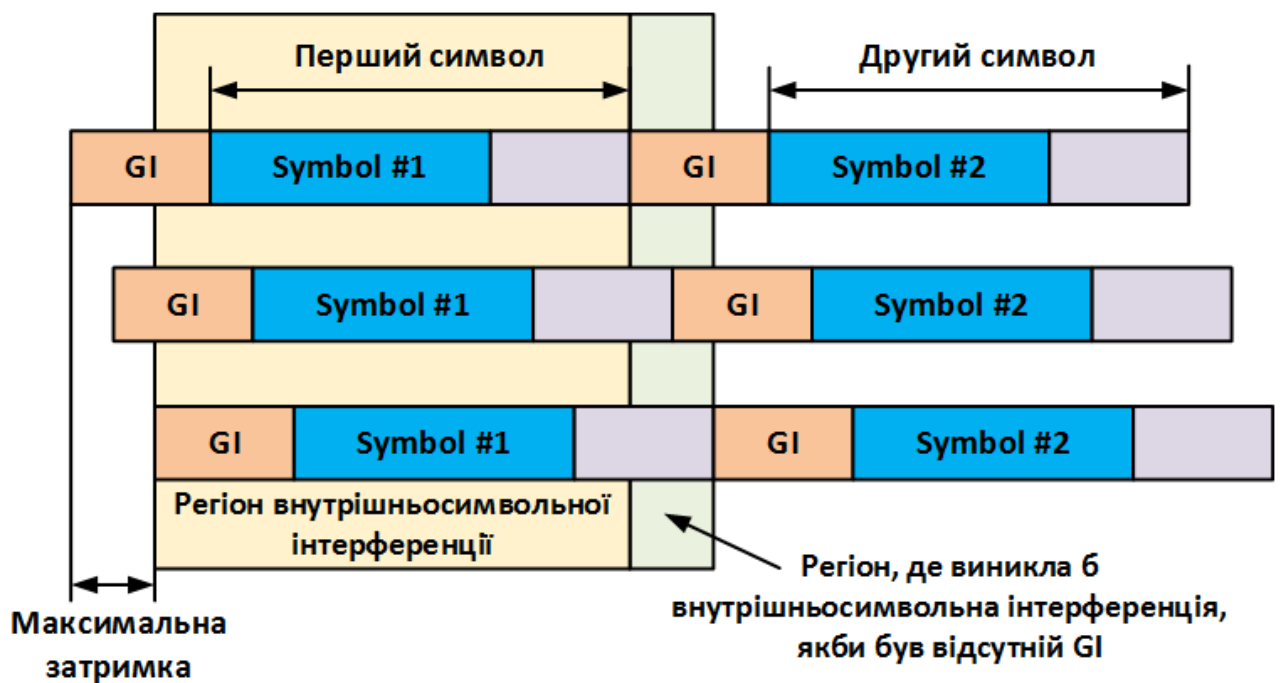


Рисунок 1.7 – Уникнення міжсимвольної інтерференції за рахунок використання охоронних інтервалів

При цьому сам символ має тривалість 3,2 мкс, а охоронний інтервал - 0,8 мкс. Таким чином, тривалість символу разом з охоронним інтервалом становить 4 мкс.

### 1.7 Система 3G LTE

У майбутньої еволюції стандартів мобільного зв'язку, таких як GSM (Глобальна система мобільного зв'язку) і WCDMA (Широкопasmовий множинний доступ з кодовим поділом), з'являться нові методи передачі, подібні OFDM. Крім того, для того щоб мати згладжений перехід від існуючих стільникових систем до нової системи з високою швидкістю передачі даних в існуючому радіоспектрі, нова система повинна мати можливість діяти динамічно змінюваною шириною смуги. Пропозицією для подібної нової гнучкої системи стільникового зв'язку є 3G LTE (Довготривала еволюція 3G, де «3G» позначає «третє покоління»), яке можна розглядати як еволюцію стандарту 3G WCDMA. OFDM буде використовуватися в цій системі в методі, званому OFDM множинним доступом (OFDMA), щоб дозволити численним користувачам спільно використовувати доступ до радіоспектру в низхідній лінії зв'язку. Система може працювати в смугах шириною від 1,25 до 20 МГц.

Одним важливим аспектом LTE є функція мобільності. Отже, символи синхронізації і процедури пошуку чарунки є найбільш важливими для абонентського обладнання (UE) для виявлення і синхронізації з іншими чарунками. Для полегшення процедур пошуку чарунки і синхронізації, певні сигнали включають в себе сигнали первинної і вторинної синхронізації (P-SyS і, відповідно, S-SyS), які передаються по каналу первинної синхронізації (P-SCH) і, відповідно, каналу вторинної синхронізації (S-SCH). Кожен з P-SyS і S-SyS широкомовно передається двічі на кадр: один раз в підкадрі 0 і знову в підкадрі 5, як показано на рисунку 1.8.

Іншим важливим аспектом LTE є ефективна підтримка для широкомовної передачі і мультимедійної послуги широкомовної/групової передачі (MBMS).

В LTE передбачена так звана операція "одночастотної мережі" (SFN), в якій базові станції синхронізовані.

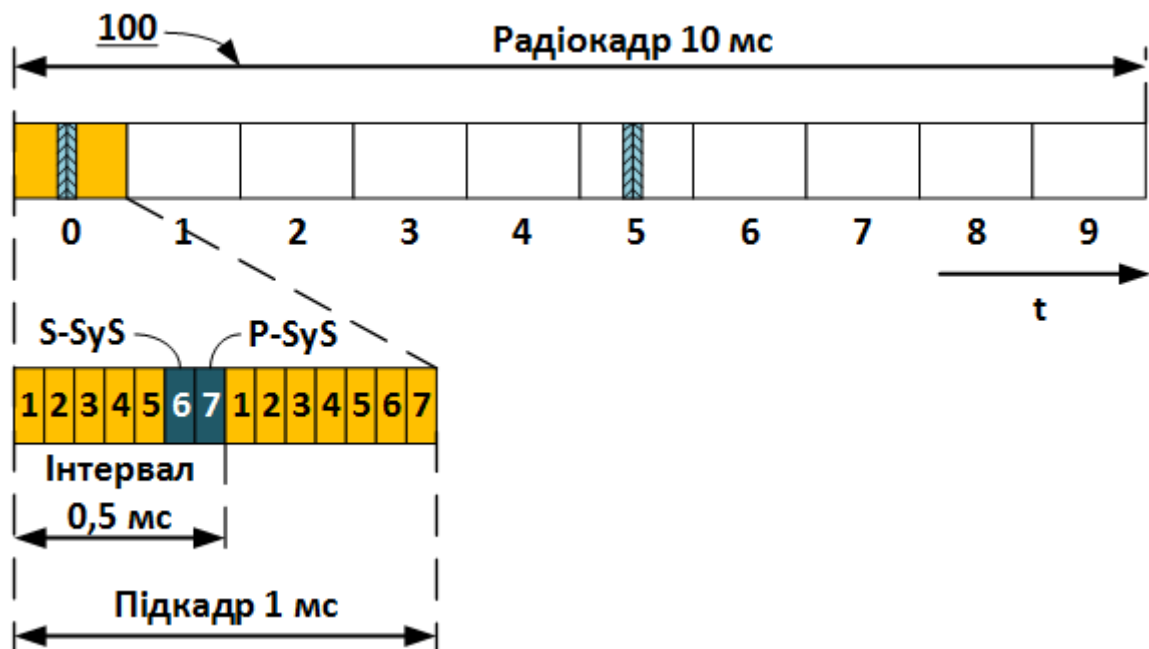


Рисунок 1.8 – Передача в кадрі

В даному документі контент MBMS передається від декількох базових станцій з використанням тих самих фізичних ресурсів. Сигнали від цих численних передач автоматично "комбінуються в ефірі", тому не потрібно ніяких додаткових ресурсів приймача для цієї мети. Для того щоб це «комбінування в ефірі» працювало, всі базові станції, які беруть участь, повинні бути синхронізовані - як в частотній області, так і в часовій області - аж до величини частки довжини циклічного префікса. Для того щоб полегшити вимоги до синхронізації за часом, кращим є довгий циклічний префікс. Однак збільшення циклічного префікса без збільшення тривалості символу OFDM збільшує непродуктивну навантаження. Одним можливим рішенням є використання меншого рознесення піднесучих (і відповідної ширини смуги), таким чином, збільшуючи тривалість символу OFDM (тривалість символу OFDM обернено пропорційна рознесенню піднесучих). Наприклад, зменшення вдвічі рознесення піднесучих призводить до символів OFDM, які в два рази довше, тим самим допускаючи циклічний префікс, який в два рази довше. Таким чином, величина непродуктивної навантаження зберігається постійною.

Тому, на додаток до підтримки рознесення піднесучих на 15 кГц, LTE також підтримує використання рознесення піднесучих на 7,5 кГц для операції SFN [9].

Фізичний рівень системи 3G LTE включає в себе вихідний радіокадр, який має тривалість 10 мс. Рисунок 1.8 ілюструє один подібний кадр. Кожен кадр має 20 інтервалів (слотів), пронумерованих від 0 до 19, кожен інтервал має тривалість 0,5 мс. Підкадр виконаний з двох суміжних інтервалів  $i$ , отже, має тривалість 1 мс.

UE повинно визначати як можна швидше, з'єднується він з чарункою з 7,5 кГц піднесучою або з чарункою з 15 кГц піднесучою, так як наступні процедури можуть бути різними для двох випадків. Однією можливістю, є мати дві схеми синхронізації сигналу, які повністю відрізняються, кожна з яких унікально асоційована з однією з величин рознесення піднесучих. Однак у цьому випадку від UE треба було б мати реалізованими обидві схеми синхронізації сигналу, і в цьому випадку воно повинно виконувати алгоритми пошуку для обох сигналів синхронізації або паралельно - таким чином, збільшуючи складність, або послідовно - таким чином збільшуючи час пошуку чарунки.

Отже, бажано мати метод, який дозволить UE виявляти, яким є рознесення піднесучих, без необхідності мати дві різні схеми синхронізації сигналів [10].

### 1.8 Послуга широкомовної/групової передачі (MBMS)

MBMS являє собою односпрямовані послуги і дозволяє відправляти повідомлення від одного джерела відразу декільком одержувачам.

Специфікаціями 3GPP передбачені два режими роботи: Broadcast (трансляцію) і Multicast (групове мовлення). В режимі Broadcast повідомлення направляються системою всім користувачам в певній зоні. Зазвичай ця послуга безкоштовна для абонентів, а оператори беруть плату з заінтересованої сторони, наприклад з рекламодавця. В режимі Multicast мережа посиляє інформацію тільки певним абонентам, які підписані на дану послугу.

Порівняно з традиційною послугою Cell Broadcast (CBS) MBMS дозволяє передавати не тільки SMS, але і мультимедійну інформацію, що, поряд з оптимізацією використання ресурсів, робить цю технологію однією з найбільш перспективних [10].

Схема функціонування мережі з підтримкою технології MBMS наведена на рисунку 1.9.

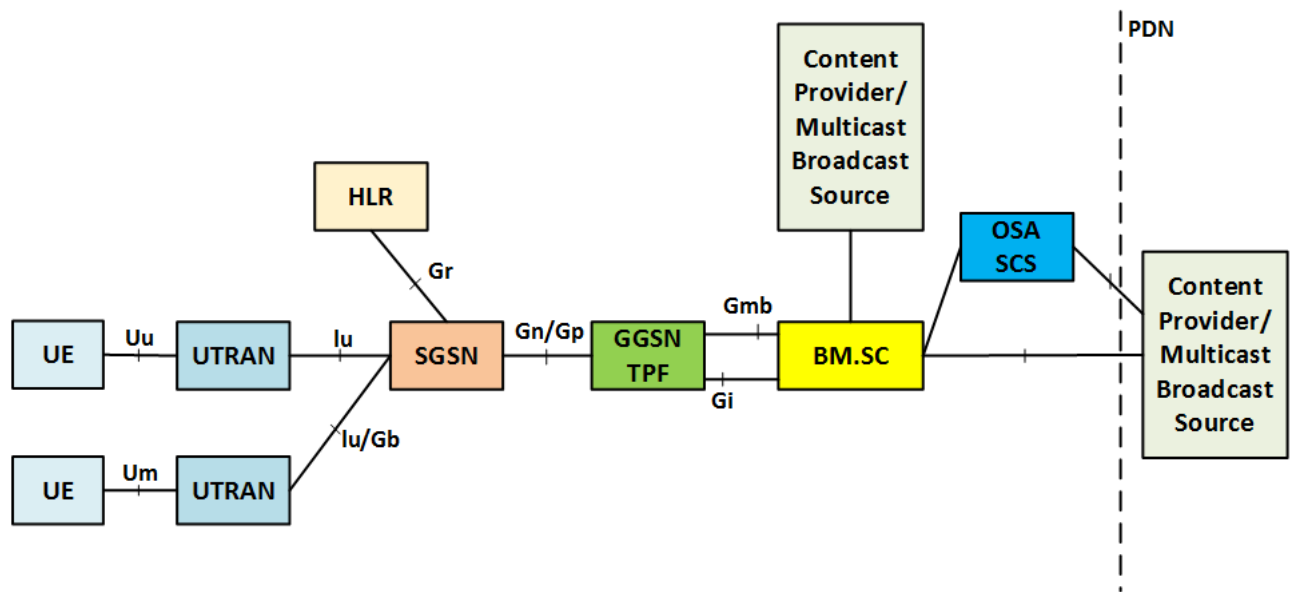


Рисунок 1.9 – Схема мережі з підтримкою MBMS

Для підтримки MBMS в існуючу мережу необхідно додати ще один мережевий елемент BM.SC, який забезпечує надання послуг MBMS і управляє доступом користувачів до системи, а також виконує функції тарифікації. Крім того, в існуючих елементах мережі (GGSN, SGSN, UTRAN та UE) також додаються відповідні функції. Gmb- і Gi-інтерфейси забезпечують передачу інформації управління і користувацьких даних відповідно [11].

### 1.9 Операція «одночастотної мережі» (SFN)

Одночастотні мережі (Single Frequency Network – SFN) дають істотну перевагу, пропонуючи цифрову модуляцію COFDM в стандарті DVB-T.

В даному випадку можна використовувати безліч передавачів, що покривають суміжні галузі, що працюють на одній частоті і передають однакові програми. При цьому використання всього одного каналу випромінювання

відбувається без взаємного впливу передавачів один на одного, значно заощаджуючи частотний ресурс. Одночастотні мережі використовуються у Англії, Швеції, Іспанії та Франції: це – випробуваний і ефективний спосіб експлуатації мережі мовлення в реальних умовах. Аналогову одночастотну мережу мовлення зробити фактично неможливо. В аналогових системах теоретично можна зменшити інтерференцію в межах зони дії кожного передавача по відношенню до передавачів, що покриває суміжну область, використовуючи технологію зміщення несучої частоти. Однак на практиці з'являються області істотного впливу, в яких якість сигналу значно погіршується навіть у випадку надзвичайно добре запланованих зон покриття та застосування спрямованих антенних систем.

При побудові цифрової одночастотної мережі (SFN) особливі вимоги, насамперед, пред'являються до точності/стабільності частоти. Для передавачів багаточастотних мереж (MFN) нормою є відхилення в 100 Гц, а для передавачів SFN точність повинна бути набагато більше. У мережах SFN всі передавачі повинні бути синхронізовані на одній частоті, що зазвичай забезпечується сигналом супутникової навігаційної системи GPS. Сигнал, випромінюваний супутниками GPS, може бути отримано майже всюди в світі і містить дуже точну інформацію часу. Точність/стабільність частоти при цьому буде мати величину порядку 1 Гц.

Кожен передавач SFN повинен передати той самий транспортний потік і випромінювати його синхронно з іншими передавачами. Всередині транспортного потоку (при генерації в мультиплексорі) цифровий потік даних поділяють на «мегаструктури», і до них додаються дані MIP (пакет ініціалізації мегаструктури) для того, щоб синхронізувати випромінювання кожного передавача в мережі. Синхронізація досягається завдяки сигналу частотою 1 Гц (1 pps - 1 імпульс в секунду), що приймаються приймачами GPS. Тепер сигнали всіх передавачів випромінюються синхронно на одній частоті і мають однакові біти даних.

Для одночастотної мережі мовлення головною перевагою цифрової модуляції COFDM є успішна боротьба з ехосигналами, які можуть виникати через віддзеркалення від навколишніх предметів або при роботі декількох передавачів на одному і тому ж радіочастотному каналі (таблиця 1.2)

Таблиця 1.2 – Відмінності між режимами 2K IFFT і 8K IFFT

<b>Пропорція між довжиною захисного інтервалу і тривалістю часу символу</b>	<b>Довжина захисного інтервалу з 8K IFFT, мкс</b>	<b>Еквівалентна відстань з 8K IFFT, км</b>	<b>Довжина захисного інтервалу з 2K IFFT, мкс</b>	<b>Еквівалентна відстань з 2K IFFT, км</b>
1/4	224	67,2	56	16,8
1/8	112	33,6	28	8,4
1/16	56	16,8	14	4,2
1/32	28	8,4	7	2,1

Власне кажучи, система COFDM здатна використати з вигодою деякі види ехосигналів (ті, які посилюють приймаючий сигнал) і ігнорувати ехосигнали, які позначаються негативно на корисному сигналі.

Головна особливість, що дозволяє в мережі SFN уникнути взаємного впливу в зонах, де накладаються сигнали, – захисний інтервал [12].

Це часовий інтервал після передачі кожного символу, протягом якого передавач не випромінює ніякого корисного сигналу. Це дозволяє приймачу, синхронізованому з передавачем, не приймати сигнали протягом захисного інтервалу. Таким чином, приймачі не схильні можливим «накладенням» символів, які могли б зробити отриманий сигнал неможливим для демодуляції, навіть якщо його рівень буде досить гарним.

Чим довше захисний інтервал, тим більше часу, щоб гасити небажане відлуння. Але при цьому нижче кількість даних, які можуть бути передані (швидкість передачі BIT RATE - кількість та/або якість програм).

Захисний інтервал може становити від декількох мікросекунд до 200 мікросекунд і більше, щоб гасити відображені сигнали, що прибувають від

різних передавачів (як близько розташованих, так і на відстані до 70 кілометрів). Електромагнітні хвилі поширюються зі швидкістю світла, тобто приблизно 300 метрів в мікросекунду [13].

В режимі 2K IFFT (модуляція OFDM з 1705 несучими), має символну швидкість вище, ніж у режимі 8 K IFFT (6817 несучих), можливі захисні інтервали мають більш коротку тривалість, будучи завжди виражені як частка тривалості часу символу ( $1/4$ ;  $1/8$ ;  $1/16$ ;  $1/32$ ). Тому в мережах SFN частіше використовують режим 8 K IFFT з більш довгими захисними інтервалами.

Вибір величини захисного інтервалу для одночастотної мережі робить вирішальний вплив на топологію мережі: оскільки тривалість інтервалу визначає допустиму для даної мережі величину затримки сигналу відлуння, то вона і визначає максимальну відстань між передавачами.

Висновок: для побудови одночастотної мережі цифрового мовлення (SFN):

- транспортний потік повинен бути сформований мультиплексором, який має GPS-приймач (щоб гарантувати точність частоти згенерованих даних);
- всі передавачі повинні бути синхронізовані приймачами GPS;
- планування мережі (вибір потужності та місця розташування передатчиків, діаграми спрямованості антенних систем тощо) повинно бути виконано таким чином, щоб зменшити до мінімуму можливі області інтерференції [13].

#### 1.10 Висновок. Постановка задачі

Аналізуючи вищесказане, можемо зробити наступні висновки:

1 Системи 3G LTE використовують множинний доступ OFDMA, що дозволяє користувачам спільно мати доступ до радіоспектру в низхідній лінії зв'язку. При цьому, система працює в смугах шириною від 1,25 до 20 МГц. Крім того, швидкості передачі даних до 100 Мбіт/с підтримуються на максимальній ширині смуги пропускання.



2 Перевагою методу OFDMA є поєднання високої швидкості передачі з ефективним протистоянням багатопроменевому поширенню. Якщо говорити точніше, що дозволяє усунути ефект міжсимвольної інтерференції.

3 Для одночастотної мережі мовлення, яка використовується в даному алгоритмі, головною перевагою цифрової модуляції COFDM, є успішна боротьба з сигналами відлуння, які можуть виникати через віддзеркалення від навколишніх предметів або при роботі декількох передавачів на одному і тому ж радіочастотному каналі.

4 Поліпшення алгоритму полягає у зменшенні часу пошуку чарунки.

Таким чином, для зменшення часу пошуку чарунки (соти) необхідно вирішити наступні задачі:

1 Дослідити методи та алгоритми пошуку чарунки (соти) в системі мобільного зв'язку.

2 Запропонувати алгоритм розподілу піднесучих в стільниковій системі 3G LTE, що забезпечує зменшення часу пошуку чарунки (соти).

3 Оцінити ефективність пропонованого алгоритму та системи в цілому.

## РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ РОЗПОДІЛУ ПІДНЕСУЧИХ В СИСТЕМІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ LTE

### 2.1 Ідентифікація мобільних абонентів

Кожному мобільному абоненту в системі GSM/UMTS виділяється унікальний міжнародний ідентифікатор IMSI. Цей підхід був сформульований у вигляді концепції, яка в рекомендаціях ITU-T названа «Міжнародної ідентифікацією мобільної станції». Для підтримки конфіденційності абонента візитні реєстри місця розташування абонента (VLR) можуть виділити візитним мобільним абонентам часові унікальні ідентифікатори TMSI.

Мобільному абоненту мережі GSM/UMTS можуть бути виділені два ідентифікатора TMSI: один для послуг, що надаються центром комутації MSC, а інший - для послуг, що надаються сервісним вузлом SGSN (часовий пакетний ідентифікатор P-TMSI). Для адресації в підсистемі пакетної комутації GERAN/UMTS використовується часовий ідентифікатор логічного каналу (TLLI), який формується на основі ідентифікатора P-TMSI.

Для прискорення процедури пошуку даних абонента в базі даних реєстра VLR, візитному абоненту виділяється додатковий локальний ідентифікатор LMSI. Цей ідентифікатор часово присвоюється візитному абоненту. Запити, що передаються від реєстра VLR до домашнього реєстру HLR, містять ідентифікатор LMSI спільно з ідентифікатором IMSI. Реєстр HLR використовує LMSI для формування відповідей реєстру VLR [14].

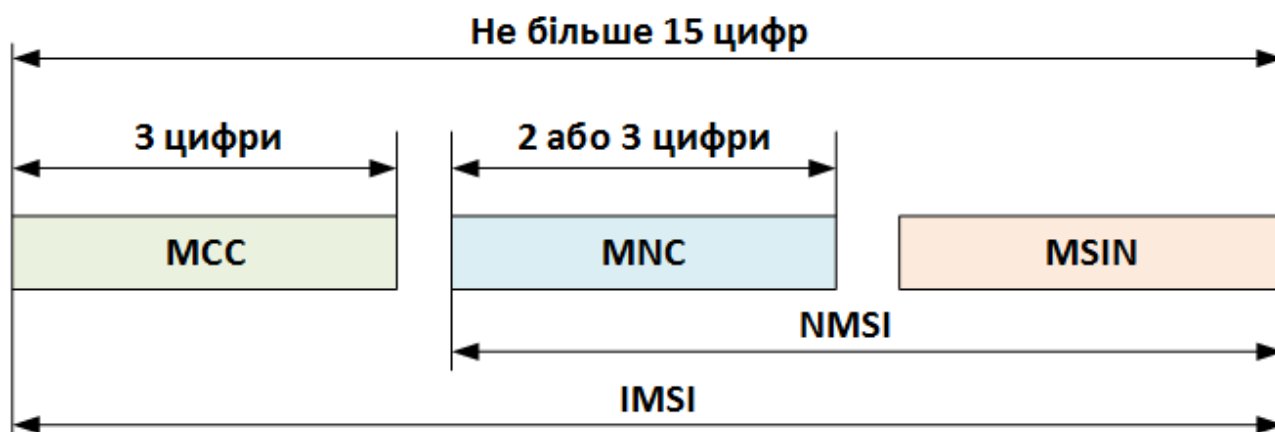
#### 2.1.1 Структура унікального міжнародного ідентифікатора абонента (IMSI)

У структурі ідентифікатора IMSI можна виділити три частини (рисунок 2.1):

1 Мобільний код країни (MCC), що складається з трьох цифр. MCC однозначно ідентифікує країну розташування мережі, до якої належить мобільний абонент.

2 Код мережі мобільного зв'язку (MNC), що складається з двох або трьох цифр. Код MNC ідентифікує домашню мережу мобільного абонента. Довжина коду MNC (дві або три цифри) залежить від коду MCC.

3 Номер MSIN, що ідентифікує мобільного абонента в межах його домашньої мережі.



*Рисунок 2.1 – Структура ідентифікатора IMSI*

У ідентифікатор IMSI входять мобільний код країни MCC і унікальний національний ідентифікатор мобільного абонента NMSI, що складається з коду мережі рухомого зв'язку MNC і номеру мобільного абонента MSIN.

Унікальний міжнародний ідентифікатор IMSI повинен складатися тільки з десяткових цифр (від 0 до 9), а загальна кількість цифр у IMSI не повинна перевищувати 15.

### 2.1.2 Структура часового унікального ідентифікатора абонента (TMSI)

Оскільки TMSI має тільки локальну значимість (тобто в межах візитного регістра VLR і контрольованої ним зони), то його структуру оператори можуть вибирати самостійно.

Часовий унікальний ідентифікатор TMSI складається з чотирьох октетів і може бути представлений в шістнадцятковому вигляді. Для того щоб ідентифікатор TMSI не був призначений двічі, певна його частина відповідає часу його виділення. Крім того, ідентифікатор TMSI включає в себе цифрове поле (лічильник), яке змінюється після кожного призначення ідентифікатора. В

тих областях обслуговування мережі, де послуги надаються центром MSC, так і вузлом SGSN, потрібно розпізнавання джерела розподілу ідентифікатора TMSI. Розпізнавання повинно відбуватися за двома найбільш значущими розрядами номера, при цьому реєстр VLR використовує коди 00, 01 і 10, а SGSN - код 11.

Виключається використання TMSI, які складаються лише з одиниць у двійковому коді. Ідентифікатор TMSI зберігається в пам'яті модуля USIM. Якщо ідентифікатор TMSI відсутній, то відповідні поля пам'яті модуля USIM мають одиничні значення [15].

### 2.1.3 Структура локального ідентифікатора абонента (LMSI)

Локальний ідентифікатор LMSI складається з 4 октетів і розподіляється візитним реєстром VLR. Ідентифікатор не може приймати нульове значення.

### 2.1.4 Структура часового ідентифікатора логічного каналу (TLLI)

Ідентифікатор TLLI складається з 32 розрядів, пронумерованих від 0 до 31 в порядку значимості, при цьому розряд 0 є молодшим (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Побудова ідентифікатора TLLI

Значення розрядів ідентифікатора TLLI						Тип ідентифікатора TLLI
31	30	29	28	27	26-0	
1	1	T	T	T	T	Ідентифікатор в домашній мережі
1	0	T	T	T	T	Ідентифікатор в візитній мережі
0	1	1	1	1	R	Вільний
0	1	1	1	0	A	Допоміжний
0	1	1	0	X	X	Резерв
0	1	0	X	X	X	Резерв

**Примітка.** Букви T, R, A, X відповідають розрядам, які можуть приймати будь-які значення для TLLI; T-розряди, які мають значення тих самих розрядів ідентифікатора P-TMSI; R-розряди, які мають вільні значення; A-розряди, значення яких назначені вузлом SGSN; X-резервні розряди.

Ідентифікатор TLLI, призначений для мобільних терміналів в домашній мережі, має наступний формат:

- значення розрядів 31 і 30 дорівнюють 1;
- значення розрядів 29-0 відповідають значенням розрядів 29-0 ідентифікатора P-TMSI.

Довільний ідентифікатор TLLI має наступний формат:

- значення розряду 31 дорівнює 0;
- значення розрядів 30-27 дорівнюють 1;
- розряди 0-26 мають довільні значення.

Допоміжний ідентифікатор TLLI призначається вузлом SGSN і має наступний формат:

- значення розряду 31 дорівнює 0;
- значення розрядів 30-28 дорівнюють 1;
- значення розряду 27 дорівнює 0;
- розряди 0-26 мають довільні значення [15].

#### 2.1.5 Структура часового унікального пакетного ідентифікатора (P-TMSI)

Ідентифікатор P-TMSI є спеціальним системним параметром, який сервісний вузол SGGN посилає абоненту при виконанні процедури приєднання мобільного терміналу до мережі для забезпечення конфіденційності абонента.

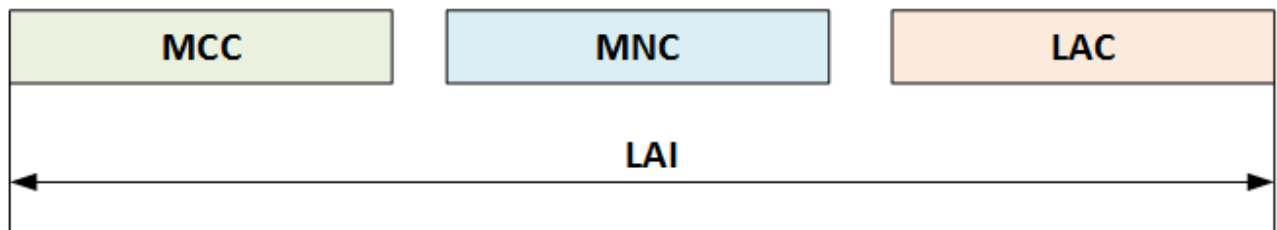
Мережа UMTS не повинна призначати абоненту ідентифікатор P-TMSI, у якого всі розряди дорівнюють 1, з-за того, що поодинокі значення відповідного поля пам'яті модуля USIM вказують на відсутність ідентифікатора P-TMSI.

#### 2.1.6 Ідентифікатор зони розташування абонента (LAI)

До складу ідентифікатора LAI входять наступні елементи (рисунки 2.2):

- мобільний код країни (MCC), ідентифікує країну, в якій розташована мережа, що містить три цифри (аналогічно кодом MCC, що входить в міжнародний унікальний ідентифікатор мобільного абонента IMSI);

- код мережі мобільного зв'язку (MNC), що ідентифікує мережу мобільного абонента, який складається з двох або трьох цифр (аналогічно коду MNC, що входить в IMSI);
- код зони розташування (LAC), що має фіксовану довжину (два октета) і визначає зону розташування мобільного абонента в межах мережі.



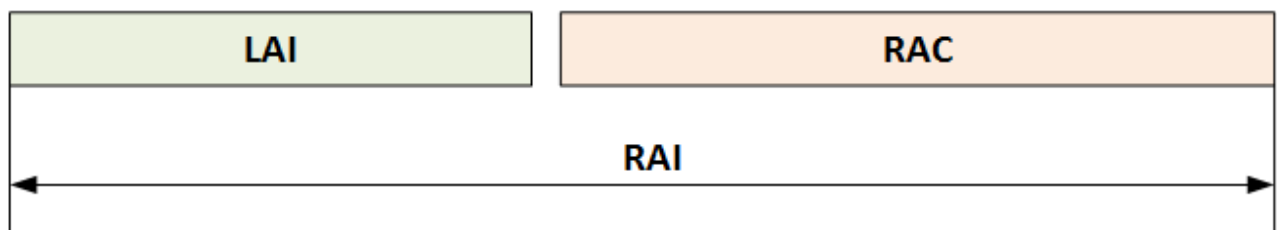
*Рисунок 2.2 – Структура ідентифікатора LAI*

Код LAC можна представити в шістнадцятковому вигляді, за винятком зарезервованих шістнадцяткових значень 0000 і FFFE [15].

#### 2.1.7 Ідентифікатор зони маршрутизації (RAI)

Структура RAI показана на рисунку 2.3. До складу ідентифікатора зони маршрутизації RAI входять наступні елементи:

- ідентифікатор зон розташування мобільного абонента (LAI);
- код зони маршрутизації (RAC), який має фіксовану довжину (один октет) і ідентифікує зону маршрутизації підсистеми GPRS в межах зони розташування абонента.



*Рисунок 2.3 – Структура ідентифікатора RAI*

### 2.1.8 Ідентифікатор базової станції

Ідентифікатор визначає базові станції мережі мобільного зв'язку і чарунки всередині підсистеми базових станцій в межах зони розташування абонента або зони маршрутизації. Код унікального ідентифікатора базової станції (BSIC) являє собою сукупність «кольорових» кодів мережі і базової станції. Завдяки цьому коду мобільний термінал відрізняє базові станції один від одного. Код BSIC має шість розрядів (рисунок 2.4).

Унікальний ідентифікатор чарунки (CI) має фіксовану довжину (два октети) і може бути представлений в шістнадцятковому вигляді.

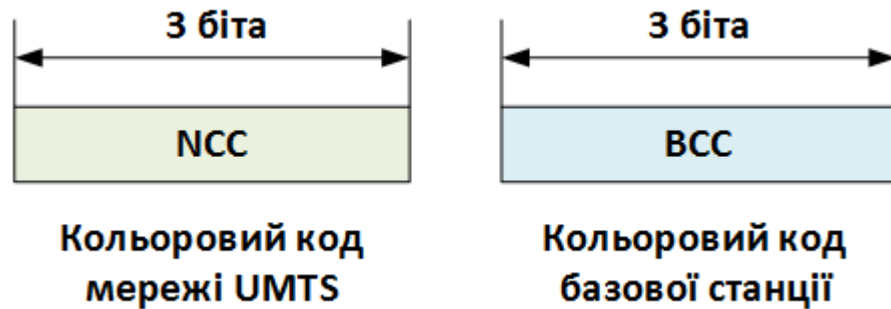


Рисунок 2.4 – Структура коду BSIC

Глобальний ідентифікатор чарунки (CGI) являє собою об'єднання ідентифікатора зони розташування абонента і унікального ідентифікатора чарунки (рисунок 2.5).

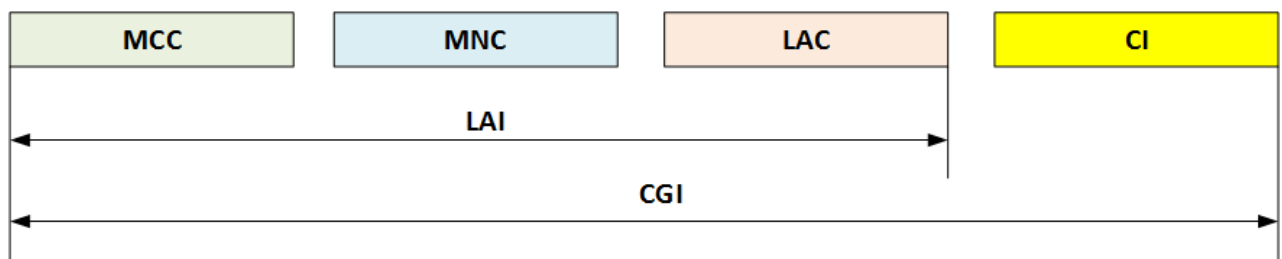


Рисунок 2.5 – Структура ідентифікатора CGI

### 2.1.9 Ідентифікатор регіональної зони роумінгу абонентів (RSZI)

Орієнтований на мережу UMTS регіональний поділ абонентів однозначно визначає для всієї мережі UMTS ті області, в яких дозволений роумінг. В такі області входить одна або кілька регіональних зон роумінгу. Ідентифікатор регіональної зони роумінгу наведено на рисунку 2.6.

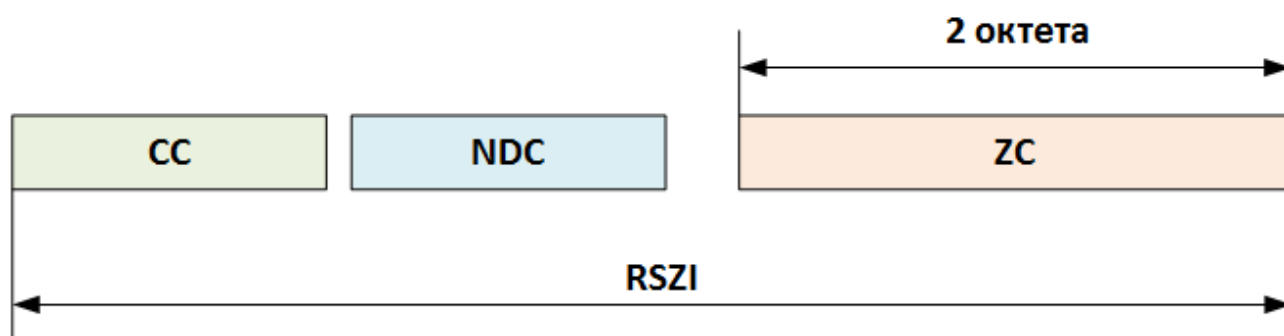


Рисунок 2.6 – Структура ідентифікатора RSZI

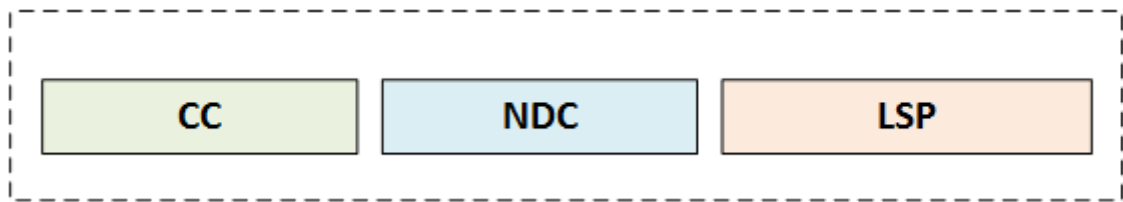
До складу унікального ідентифікатора регіональної зони роумінгу входять наступні елементи:

- код країни (CC), ідентифікує країну, в якій розташована мережа UMTS;
- національний код призначення (NDC), що ідентифікує мережу UMTS у цій країні;
- код зони (ZC), що ідентифікує регіональну зону роумінгу у мережі UMTS; код ZC має фіксовану довжину (два октета) і надається в шістнадцятковому вигляді.

### 2.1.10 Код місця розташування мобільного абонента

Цей код визначає конкретне місце розташування мобільного абонента в межах зони покриття мережі UMTS. Форматування коду розташування проводиться відповідно до Рекомендації ITU-T E.164, як показано на рисунку 2.7. Код країни (CC) і національний код призначення (NDC) визначають мережу UMTS, в якій розташований мобільний абонент.





*Рисунок 2.7 – Структура коду місця розташування мобільного абонента*

Структура локально значущої частини коду місця розташування мобільного абонента (LSP) підлягає узгодженню між оператором UMTS і національним органом, що регулює розподіл ресурсу нумерації в країні знаходження мережі UMTS [16].

## 2.2 Поліпшений метод рознесення піднесучих в стільниковій системі зв'язку

Згідно з одним аспектом цього методу, вищевказана та інші цілі досягаються в пристроях, які вказують, яке з першого рознесення піднесучих (наприклад, 15 кГц) і другого рознесення піднесучих (наприклад, 7,5 кГц) в поточний час використовується в системі стільникового зв'язку. Це включає в себе формування першого типу сигналу синхронізації у відповідь на перше рознесення піднесучих, що використовується в даний момент, і формування другого типу сигналу синхронізації у відповідь на друге рознесення піднесучих, що використовується в даний момент. Будь-який з сформованих першого типу сигналу синхронізації або другого типу сигналу синхронізації передається. Подання часової області другого типу сигналу синхронізації включає в себе безліч екземплярів першого типу сигналу синхронізації.

В іншому аспекті радіоінтерфейс системи стільникового зв'язку використовує мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM), формування першого типу сигналу синхронізації містить перетворення набору  $S_k$  символів синхронізації ( $0 \leq k \leq N-1$ ) у безперервний набір з  $N$  піднесучих; кожна з  $N$  піднесучих має перше рознесення піднесучих; і формування другого типу сигналу синхронізації містить перетворення набору  $S_k$  символів синхронізації в набір з  $n \cdot N$  піднесучих ( $n > 1$ ), так що кожна  $n$ -на з  $n \cdot N$

піднесучих переносить один з  $N$  символів синхронізації і решта з  $n \cdot N$  піднесучих переносять нульові значення, при цьому кожна з  $n \cdot N$  піднесучих має друге рознесення піднесучих.

В іншому аспекті поліпшеного алгоритму, пристрої та способи визначають, яке з першого рознесення піднесучих (наприклад, 15 кГц) і другого рознесення піднесучих (наприклад, 7,5 кГц) в поточний час використовується в системі стільникового зв'язку. Це включає в себе обробку прийнятого сигналу для вилучення з нього сигналу синхронізації. Потім визначається, чи містить уявлення часовій області сигналу синхронізації тільки один екземпляр першого

типу сигналу синхронізації. Якщо подання часової області сигналу синхронізації містить тільки один екземпляр першого типу сигналу синхронізації, то перше рознесення піднесучих використовується в одній або більше наступних операціях зв'язку. Інакше, якщо подання часової області сигналу синхронізації містить більш ніж один примірник першого типу сигналу синхронізації, то друге рознесення піднесучих використовується в одній або більше наступних операціях зв'язку.

В деяких варіантах відбувається визначення того, чи містить подання часової області сигналу синхронізації тільки один екземпляр першого типу сигналу синхронізації, містить формування результатів кореляції шляхом корельованості прийнятого сигналу з першим типом сигналу синхронізації і визначення, чи включають результати кореляції окремі максимуми, розділені в часі наперед визначеною величиною.

В альтернативних варіантах поліпшеного алгоритму відбувається визначення того, чи містить подання часової області сигналу синхронізації тільки один екземпляр першого типу сигналу синхронізації, містить формування результатів кореляції шляхом корельованості прийнятого сигналу з затриманої копією прийнятого сигналу, при цьому величина затримки, використовувана для формування затриманої копії прийнятого сигналу, що відповідає часовому періоду першого типу сигналу синхронізації; визначення, чи включають результати кореляції окремий максимум.

В інших альтернативних варіантах поліпшеного алгоритму здійснення визначення того, яке з першого рознесення піднесучих і другого рознесення піднесучих використовується в даний момент в системі стільникового зв'язку, що включає в себе формування першого типу сигналу синхронізації у відповідь на перше рознесення піднесучих, використовується в даний момент, і формування другого типу сигналу синхронізації у відповідь на друге рознесення піднесучих, що використовується в даний момент. Будь-який з сформованих сигналів першого типу синхронізації і другого типу сигналу синхронізації потім

передається. У подібних варіантах відбувається подання часової області першого типу сигналу синхронізації, включає в себе першу множину екземплярів базової хвильової форми; подання часової області другого типу сигналу синхронізації включає в себе другу множину екземплярів базової хвильової форми; і перша множина не буде дорівнювати другій множині [17].

### 2.2.1 Варіанти використання алгоритму рознесення піднесучих

Різні аспекти поліпшеного методу тепер докладно описують у зв'язку з безліччю конкретних варіантів використання. Для полегшення розуміння методу, багато аспектів методу описуються в термінах послідовностей здійснюваних дій за допомогою елементів комп'ютерної системи або іншого апаратного забезпечення, що забезпечує можливість виконання запрограмованих команд. Зрозуміло, що в кожному з варіантів здійснення різні дії можуть здійснюватися з допомогою спеціалізованих схем (наприклад, дискретних логічних схем, взаємопов'язаних для здійснення спеціалізованої функції), за допомогою програмних команд, виконуваних одним або більше процесорами або за допомогою комбінації зазначених засобів. Більш того, метод може додатково розглядатися як реалізоване повністю на будь-якій формі машиночитаемого носія, наприклад, магнітному диску, оптичному диску, що містить відповідний набір комп'ютерних інструкцій, які викликають виконання процесором методів, описаних у цьому документі. Таким чином,

різні аспекти методу можуть бути реалізовані в різних формах і передбачається, що всі ці форми знаходяться в межах обсягу методу. Для кожного з різних аспектів методу, будь-яка подібна форма варіантів здійснення може згадуватися в даному документі як «логіка, конфігурована для» здійснення описаних дій або альтернативно як «логіка, яка» здійснює описану дію.

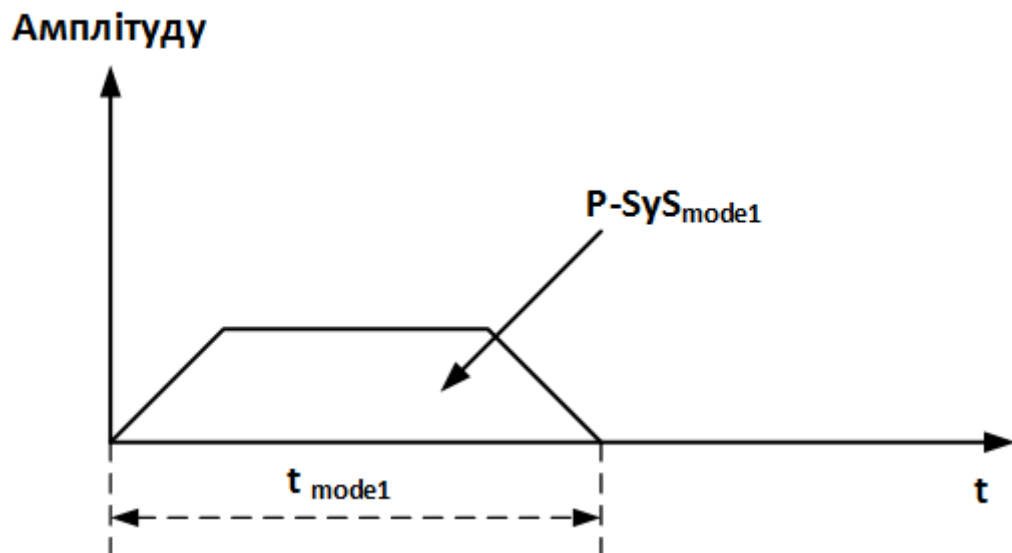
В аспекті варіантів здійснення, відповідних удосконаленому методу, передбачена первинна синхронізація P-SyS, що використовується в системі зв'язку, при цьому перший тип сигналу синхронізації, в даному документі позначений P-SyS MODE1, використовується, коли рознесення піднесучих є більшим з двох можливих рознесень (наприклад, 15 кГц на кожен піднесучу), і другим тип сигналу синхронізації, позначений P-SyS MODE2, використовується, коли рознесення піднесучої є меншим з двох можливих рознесень (наприклад, 7,5 кГц на кожен піднесучу), при цьому другий тип сигналу синхронізації формується як функція першого типу сигналу синхронізації. У більш конкретному варіанті здійснення другий тип сигналу синхронізації містить два або більше примірників першого типу синхронізації в безпосередній послідовності.

В іншому аспекті даного методу, якщо виявлений сигнал синхронізації містить два або більше першого типу сигналів синхронізації в безпосередній послідовності, то встановлюється, що виявлена чарунка має рознесення піднесучих, асоційоване з меншим з двох рознесень (наприклад, 7,5 кГц), в той час як якщо не виявлено повторень, то встановлюється, що виявлена чарунка має рознесення піднесучих, асоційоване з більшим з двох рознесень (наприклад, 15 кГц).

Подальший опис викладено у контексті LTE-системи. P-SyS в LTE формується шляхом відображення послідовності  $S_k$ ,  $k=0,1,\dots,N-1$  на піднесучу, що використовується для синхронізації сигналу. Після обробки зворотного швидкого перетворення Фур'є (IFFT) це призводить до отримання сигналу часової області,  $n=0,1,\dots,N-1$  (2.1), де  $n$  - номер вибірки і  $N$  - кількість піднесучих.

Деякі із значень  $S_k$  можуть бути встановлені в нуль, щоб обмежити сигнал часової області  $s(n)$  по ширині смуги. Це включення нулів може також бути необхідним, щоб уникнути спотворення DC.

У примірному варіанті здійснення представлені два режими роботи, кожен має своє власне рознесення піднесучих: перший режим, який не включає SFN (наприклад, одноадресна передача), і другий режим, який включає SFN. В аспекті методу, P-SyS для другого типу рознесення піднесучих (P-SyS MODE2) створюється так, що у часовій області вона буде копією P-SyS, використовуваної в першому режимі роботи (наприклад, без використання SFN) (P-SyS MODE1), плюс одне або більше безпосередніх повторень цього сигналу. Рисунки 2.8 і 2.9 є діаграмами сигналу часової області, які ілюструють це. Конкретно, кожен з рисунків 2.8 і 2.9 є графіком амплітуди переданих сигналів, представлених на графіку, як функція часу. Форми різних проілюстрованих сигналів призначені для простого подання наявності сигналів і не призначені для представлення дійсних хвильових форм [18].



*Рисунок 2.8 – Перший тип сигналу синхронізації, який використовується, коли рознесення піднесучих є більшим з двох можливих розмірів*

Рисунок 2.8 ілюструє перший тип сигналу синхронізації, який використовується, коли рознесення піднесучих є більшим з двох можливих розмірів (тут ілюструється як P-SyS MODE1). Тривалість першого типу сигналу

синхронізації тут позначено  $t_{\text{MODE1}}$ . Перший тип сигналу синхронізації формується згідно з рівнянням (2.1), причому символи  $S_k$  відображаються на суміжних  $N$  піднесучих. У варіантах здійснення, наприклад, LTE, одна з піднесучих є DC і з цієї причини проколюється. Відповідно, в таких варіантах здійснення  $S_{\text{DC}}$  повинна встановлюватися в нуль.

Рисунок 2.9 це діаграма, що ілюструє другий тип сигналу синхронізації, який використовується, коли рознесення піднесучих є меншим з двох можливих розмірів (тут ілюструється як P-SyS MODE2). Другий тип сигналу синхронізації містить два компонента, переданих в безпосередній послідовності під час двох (або в інших варіантах здійснення більш ніж у двох) суміжних часових інтервалах при повній тривалості  $t_{\text{MODE2}}$ .

У часовій області хвильова форма кожного з першого і другого компонентів другого типу сигналу синхронізації ідентична формі першого типу сигналу синхронізації.

Отже, кожен із перших і других компонентів має тривалість, яка дорівнює  $t_{\text{MODE1}}$ , і може розглядатися як екземпляр першого типу сигналу синхронізації.

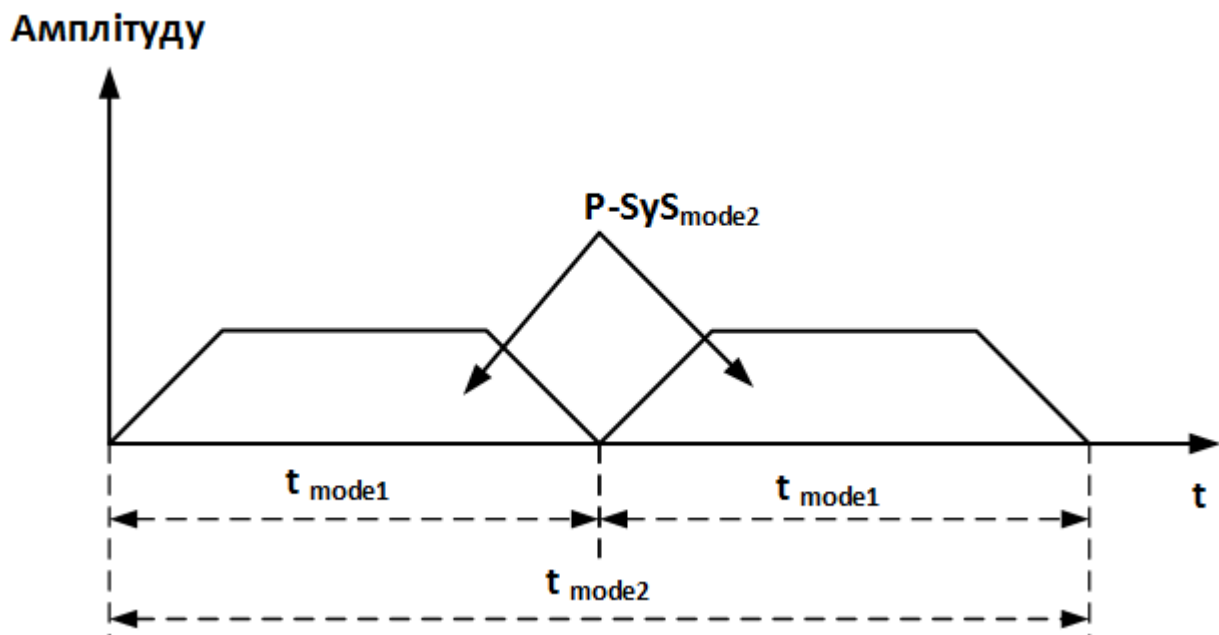


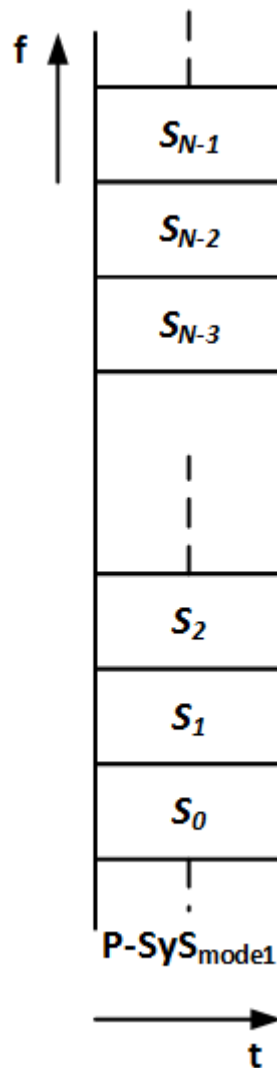
Рисунок 2.9 – Другий тип сигналу синхронізації, який використовується, коли рознесення піднесучих є меншим з двох можливих розмірів

P-SyS MODE2, який має цю властивість, легко створюється шляхом використання послідовності  $S_k$ , асоційованої з P-SyS MODE1 (тобто P-SyS більшого з двох можливих розмірів), і його відображення на кожну  $n$ -ну з  $n \cdot N$  піднесучих, де  $n > 1$ . Інші піднесучі в ширині смуги, виділеної для P-SyS, потім заповнюються нулями. Піднесучі поза ширини смуги P-SyS повинні прийматися як нулі, але це може досягатися фільтрацією на стороні приймача, так що дійсне заповнення нулями не суттєво на практиці. Результируюча хвильова форма P-SyS MODE2 в часовій області має хвильову форму, що містить  $n$  суміжних примірників хвильової форми P-SyS MODE1. У разі коли рознесення для SFN-операції є половиною вихідного рознесення піднесучих, вихідна послідовність P-SyS переважно відображається на кожну другу піднесучу (тобто  $n=2$ ), що призводить до двох суміжних екземплярів хвильової форми P-SyS MODE1 у часовій області. Це проілюстровано на рисунках 2.10 і 2.11, при цьому рисунок 2.10 є частотно-часовою діаграмою, яка показує відображення сигналу P-SyS MODE1 (всі  $N$  символів модуляції,  $S_k$  відображаються на суміжні піднесучі).

Рисунок 2.11 є частотно-часовою схемою, яка показує приблизне відображення сигналу P-SyS MODE2 (ті ж самі  $N$  символів модуляції,  $S_k$ , в цьому випадку відображаються на кожну з групи піднесучих  $2N$ , причому інші піднесучі встановлені в нуль) [18].

Більш узагальнено, відображення повинно бути у відповідності з коефіцієнтом «вихідного» рознесення піднесучих, співвіднесеного з новим (меншим) рознесенням піднесучих. Наприклад, якщо рознесення піднесучих було тільки на одну третину від величини «вихідного» рознесення піднесучих,  $N$  символів  $S_k$  модуляції відображаються на кожну третю з групи  $3N$  піднесучих з іншими піднесучими, встановленими в нуль.

При відображенні на кожну іншу одну з групи  $2N$  піднесучих, як описано вище, розмір IFFT, необхідний для перетворення P-SyS MODE2, в два більше (тобто  $2N$  замість  $N$ ), тому число сформованих вибірок часової області також в два рази більше:  $2N$ .



*Рисунок 2.10 – Сигнал P-SyS MODEL, в якому всі  $N$  символів  $S_k$  модуляції відображаються на суміжні піднесучі*

При цій структурі P-SyS присутність або відсутність безлічі екземплярів хвильової форми P-SyS вказує на те, яке з рознесень піднесучих використовується: тільки один примірник означає, що рознесення піднесучих дорівнює 15 кГц, два примірника означають, що рознесення піднесучих дорівнює 7,5 кГц. Так як хвильова форма P-SyS для випадку 7,5 кГц є тією ж самою, як і хвильова форма P-SyS для випадку 15 кГц, але передається багаторазово, та ж сама схема синхронізації UE має можливість виявлення P-SyS для обох рознесень піднесучих.



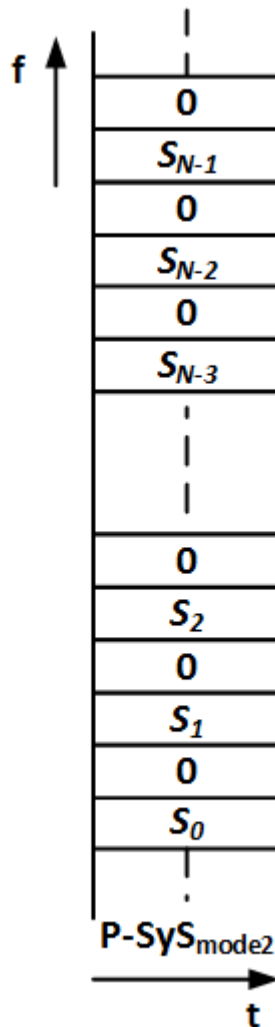
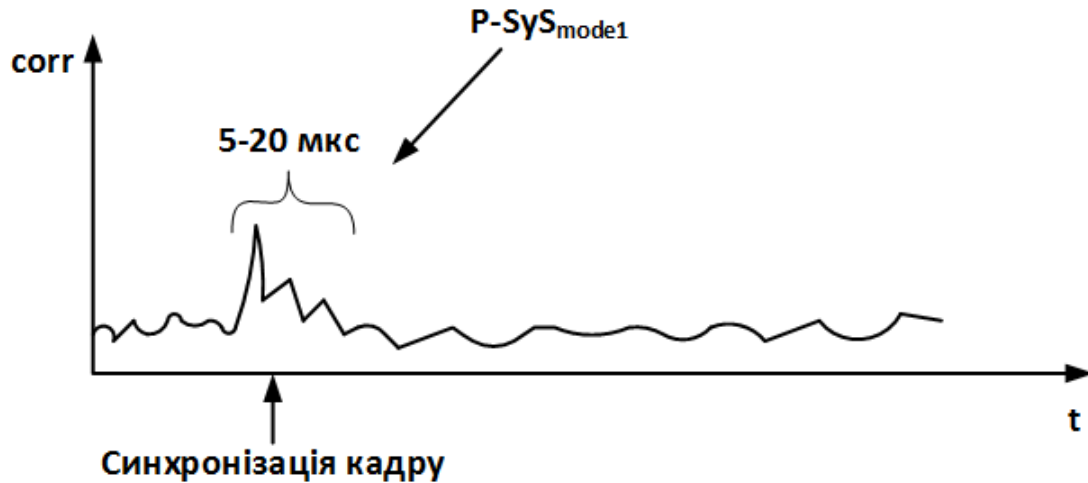


Рисунок 2.11 – Сигнал P-SySMODE2, в якому  $N$  символів модуляції,  $S_k$ , відображаються на кожну іншу з групи  $2N$  піднесучих, з іншими піднесучими, встановленими в нуль

У разі рознесення піднесучих 15 кГц метрика синхронізації має один максимум, а в разі рознесення піднесучих 7,5 кГц метрика синхронізації має безліч максимумів.

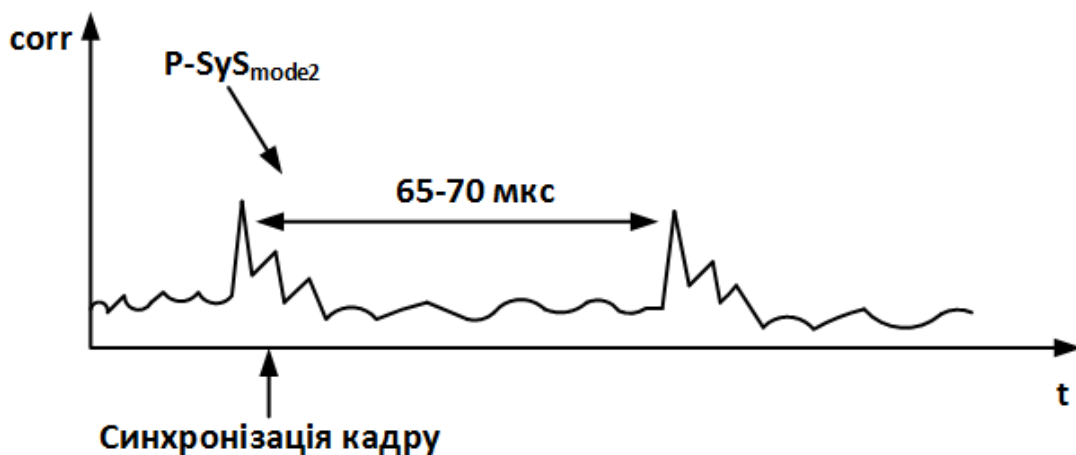
Проте в типовій LTE-системі розширення затримки складає порядку декількох мікросекунд (наприклад, найгірший випадок до 15-20 мкс), тому хвильова форма P-SyS MODE1 може бути виявлена. Приблизна хвильова форма результатів кореляції, отримана, коли прийнятий сигнал, що містить P-SyS MODE1, корелюється щодо відомого P-SyS MODE1, проілюстрована на рисунку 2.12.

На противагу цьому, безліч максимумів, які виникають, коли прийнятий сигнал, що містить P-SyS MODE2, корелюється щодо відомого P-SyS MODE1 (тобто результати кореляції, отримані у разі 7,5 кГц рознесення піднесучих), розділені часовим проміжком, який дорівнює 65-70 мікросекунд (відповідно одному символу OFDM у разі 15кГц рознесення піднесучих).



*Рисунок 2.12 – Приблизна хвильова форма результатів кореляції, коли прийнятий сигнал включає в себе P-SyS MODE1*

Результати кореляції, отримані для випадку 7,5 кГц рознесення піднесучих, проілюстровані на рисунку 2.13.



*Рисунок 2.13 - Приблизна хвильова форма результатів кореляції, коли прийнятий сигнал включає в себе P-SyS MODE2*

Через велике рознесення між безліччю максимумів, асоційованих з 7,5 кГц рознесенням піднесучих, вони легко відрізняються від численних максимумів, асоційованих з типовим розширенням затримки [18].

Рисунок 2.14 є блок-схемою релевантних компонентів в передавачі для формування сигналу P-SyS згідно аспектів поліпшеного алгоритму.

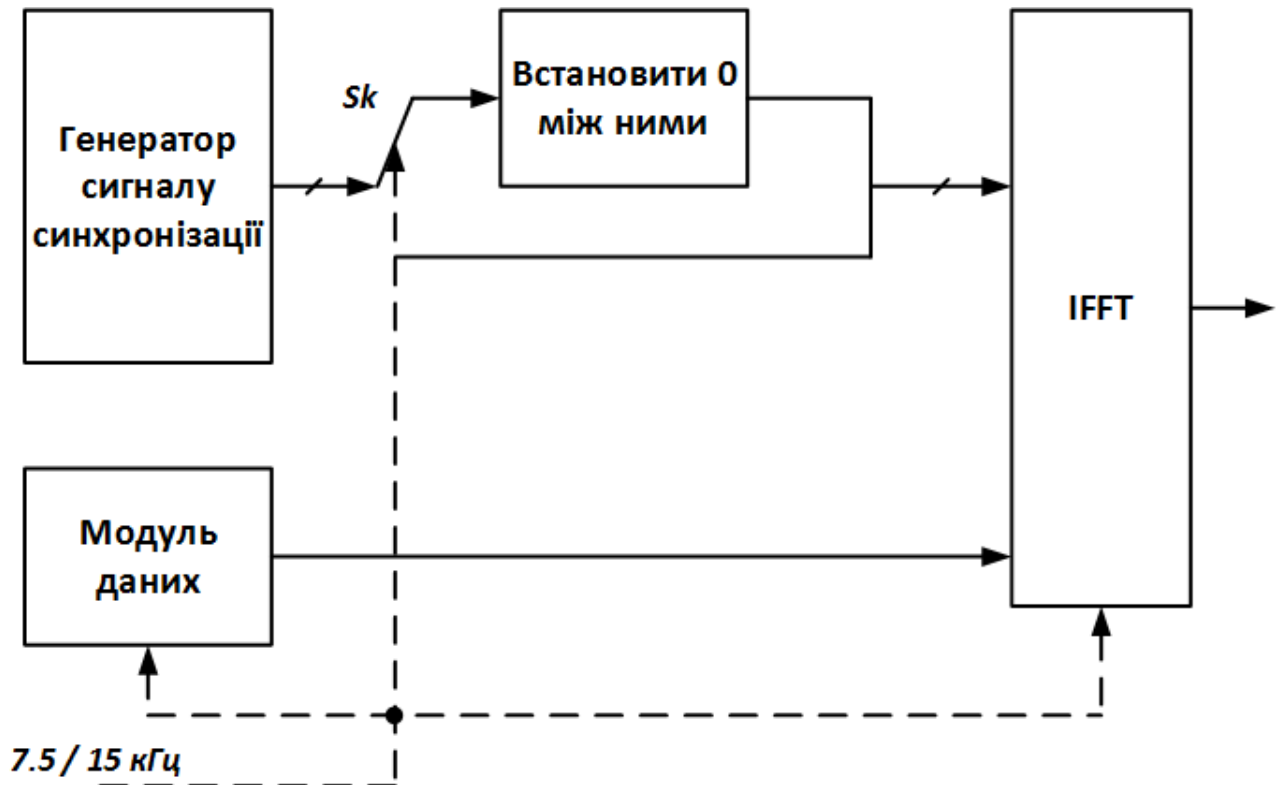


Рисунок 2.14 – Блок-схема релевантних компонентів в передавачі для формування сигналу P-SyS

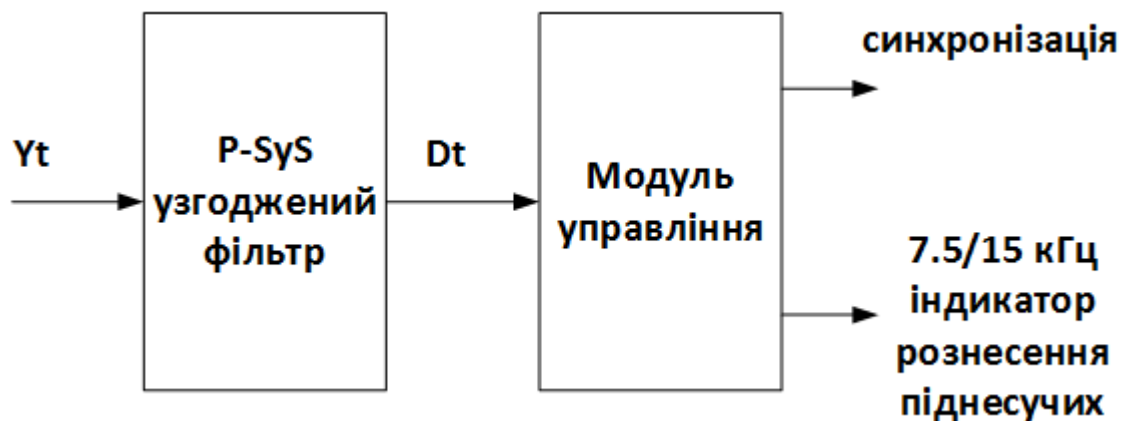
У цьому примірному варіанті здійснення передбачається, що  $n=2$  (тобто для 7,5 кГц) рознесення піднесучих, елементи послідовності сигналу синхронізації відображаються на кожну іншу піднесучу, з нулями, відображеними між ними). Генератор сигналу синхронізації формує послідовність  $S_k$  і надає їх на вхід перемикача. Перемикач управляється сигналом, який вказує, чи є рознесення піднесучих меншим (наприклад, 7,5 кГц) або більшим (наприклад, 15 кГц) з двох можливих значень. Коли менше з двох можливих рознесень вказується сигналом, перемикач надсилає послідовність  $S_k$  в логіку, яка вставляє нулі між символами  $S_k$ . У цьому прикладі вставляється тільки один нуль між двома символами  $S_k$ , але в інших

варіантах здійснення логіка, яка вставляє нулі між символами  $S_k$ , може вставляти більше одного нуля між символами  $S_k$ , в залежності від того, бажано формувати більше двох примірників базової хвильової форми P-SyS. Вихід логіки, яка вставляє нулі між символами  $S_k$ , надається на входи зворотного швидкого перетворення Фур'є (IFFT), асоційованого з P-SyS. Якщо сигнал вказує, що діє більше з двох можливих рознесень піднесучих, то перемикач викликає напрямом  $S_k$  символів безпосередньо на відповідні входи IFFT, логіка, яка вставляє нулі між  $S_k$  символами, у цьому прикладі пропущена [18].

Модуль даних формує інші дані, які подаються на інші входи IFFT. Сигнал подається на вхід управління кожного з модулів даних і IFFT для управління.

Виходом IFFT є OFDM-модульований сигнал, який передається протягом часу OFDM-символу, асоційованого з P-SyS.

Рисунок 2.15 є блок-схемою релевантних компонентів примірного приймача каналу синхронізації UE, який має можливість виявлення вказівки рознесення піднесучих згідно іншого аспекту варіантів здійснення, відповідних удосконаленому алгоритму.



*Рисунок 2.15 – Блок-схема релевантних компонентів примірного приймача каналу синхронізації UE*

Передбачається, що сигнал  $Y_t$  надається фільтром, який головним чином виключає частотні компоненти, що знаходяться поза межами рознесення P-SyS. Приймач каналу синхронізації включає в себе узгоджений фільтр (корелятор),

який узгоджено з одним періодом P-SyS. Вихід (Dt) узгодженого фільтра подається на керуючий модуль, який аналізує сигнал виходу узгодженого фільтра і формує з нього інформацію 5 мс синхронізації і сигнал, який вказує, чи використовує виявлена чарунка 7,5 кГц або 15 кГц рознесення піднесучих. Як описано раніше, керуючий модуль у цьому прикладі засновує це рішення на тому, був виявлений тільки одиночний відгук P-SyS (тобто P-SyS MODE1) чи були виявлені численні (наприклад, два) профілі затримки потужності P-SyS (тобто P-SyS MODE2).

Сигнал приймається і обробляється узгодженим фільтром, який корелює прийнятий сигнал з відомим P-SYS MODE1. Результати цієї обробки потім аналізуються, наприклад, керуючим модулем, який перевіряє, чи включає результат кореляції окремі максимуми, розділені відстанню, більшою, ніж очікуване розширення затримки, асоційоване з радіоканалом (PDP max). Значення PDP max може, наприклад, бути 20 мікросекунд. Якщо окремі максимуми не виявлено (шлях «НІ» від вирішального блоку), то визначається 15 кГц рознесення піднесучих і обробка триває відповідно. В іншому випадку (шлях «ТАК» від вирішального блоку) визначається 7,5 кГц рознесення піднесучих і обробка триває відповідно.

Можуть бути також реалізовані альтернативні алгоритми виявлення рознесення піднесучих для використання у UE. В подібному прикладі диференціальний корелятор корелює прийнятий сигнал із затриманою копією його самого. У цьому випадку затримка відповідає часовому періоду P-SyS для більшого рознесення піднесучих (тобто P-SyS MODE1), наприклад, 66 мкс і час інтегрування може бути будь-якої тривалості, більшою, ніж найдовший циклічний префікс, і до часового періоду вихідного P-SyS, наприклад, 1/15 кГц. Коли подання часової області сигналу синхронізації містить більше одного екземпляра P-SyS MODE1, результати корелятора будуть включати в себе окремий максимум. Подібний детектор аналогічний блоку сліпої оцінки циклічного префікса, і, отже, найменший час інтегрування повинен бути

більшим, ніж найдовший циклічний префікс, в іншому випадку може бути виявлений швидше циклічний префікс, ніж повторення.

Запропонована структура P-SyS допускає дуже просту структуру і метод для виявлення рознесення піднесучих. Не потрібно ніякої додаткової схеми виявлення синхронізації каналів для меншого (наприклад, 7,5 кГц) рознесення піднесучих, так як схема виявлення синхронізації каналів, узгоджена з великим (наприклад, 15 кГц) рознесенням піднесучих, також автоматично виявляє P-SyS, коли використовуються 7,5 кГц рознесення піднесучих [19].

Покращений алгоритм описано з посиланням на конкретні варіанти здійснення. Наприклад, зразкові варіанти здійснення, описані вище, припускали, що тільки два різних рознесення піднесучих необхідно вказувати і виявляти. Однак можуть бути спроектовані альтернативні варіанти здійснення з використанням принципів, описаних вище, в яких зазначаються і виявляються більше двох різних рознесень піднесучих. У подібних випадках кожне з можливих рознесень піднесучих може унікально асоціюватися з різним числом екземплярів «вихідної» хвильової форми P-SyS. Наприклад, одним примірником хвильової форми для вказівки використання першого рознесення піднесучих, двома примірниками хвильової форми для вказівки використання другого рознесення піднесучих, трьома примірниками хвильової форми для вказівки використання третього рознесення піднесучих і так далі.

Крім того, зразкові варіанти здійснення, описані вище, припускали, що одне з рознесень піднесучих (наприклад, 15 кГц) асоціювалося з виникненням тільки одного примірника «вихідної» хвильової форми P-SyS. Однак це не є істотним для даного методу. Навпаки, поліпшений метод може бути визначено, в загальному, як такий, що включає низку різних рознесень піднесучих, при цьому кожне унікально асоціюється з одним аналогічним числом можливих хвильових форм P-SyS, кожна з можливих хвильових форм P-SyS має різне число примірників «основної» хвильової форми, таким чином, роблячи їх різними одна до одної. Наприклад, у варіанті здійснення, який включає в себе два можливих рознесення піднесучих (наприклад, 15 кГц, 7,5 кГц), перше з цих

рознесення піднесучих може бути зазначено двома появами «основної» хвильової форми, і друге з цих рознесення піднесучих може бути зазначено чотирма появами «основної» хвильової форми. Це може бути реалізовано, наприклад, відображенням  $S_k$  символів на кожну іншу піднесучу (з нулями, вставленими між ними) для першого з рознесення піднесучих і відображення  $S_k$  символів на кожну четверту піднесучу (з нулями, вставленими між ними) для другого з рознесення піднесучих [19].

Ще в одному варіанті здійснення, який включає в себе два можливих рознесення піднесучих (наприклад, 15 кГц і 10 кГц), перше з цих рознесення піднесучих може бути зазначено двома появами «основної» хвильової форми, а друге з цих рознесення піднесучих може бути зазначено трьома появами «основної» хвильової форми. Для здійснення цього  $S_k$  символів відображаються на кожну другу піднесучу (з нулями, вставленими між ними) для випадку 15 кГц рознесення піднесучих і відображаються на кожну третю піднесучу (з нулями, вставленими між ними) для випадку 10 кГц. Виходить, що в режимі 15 кГц рознесення піднесучих, довжина OFDM-символу дорівнює  $1/15 \text{ кГц} = 66,67 \text{ мкс}$ . Коли  $S_k$  символів розміщуються на кожній другій піднесучій, «ефективне» рознесення піднесучих дорівнює  $2 \times 15 = 30 \text{ кГц}$  і тривалість «основної» хвильової форми P-SyS дорівнює  $1/30 \text{ кГц} = 33,33 \text{ мкс}$ . Отже, в одному OFDM-символі містяться дві основні хвильові форми.

Для режиму 10 кГц рознесення піднесучих довжина OFDM-символу дорівнює  $1/10 \text{ кГц} = 100 \text{ мкс}$ . Коли  $S_k$  символів розміщуються на кожній третій піднесучій (з нулями, вставленими між ними), «ефективне» рознесення піднесучих дорівнює  $3 \times 10 = 30 \text{ кГц}$  і тривалість «основної» хвильової форми P-SyS дорівнює  $1/30 \text{ кГц} = 33,33 \text{ мкс}$ . Отже, в одному OFDM-символі містяться три основні хвильові форми [19].

## 2.2.2 Алгоритм реалізації поліпшеного методу ідентифікації рознесення піднесучих

Рисунок 2.16 є блок-схемою етапів, які можуть здійснюватися за допомогою схеми у UE, яка виявляє вказівку рознесення піднесучих згідно іншого аспекту варіантів здійснення, відповідних удосконаленому методу. [19]

1 Спосіб зазначення, яке з першого рознесення піднесучих і другого рознесення піднесучих використовується в даний момент в системі стільникового зв'язку.

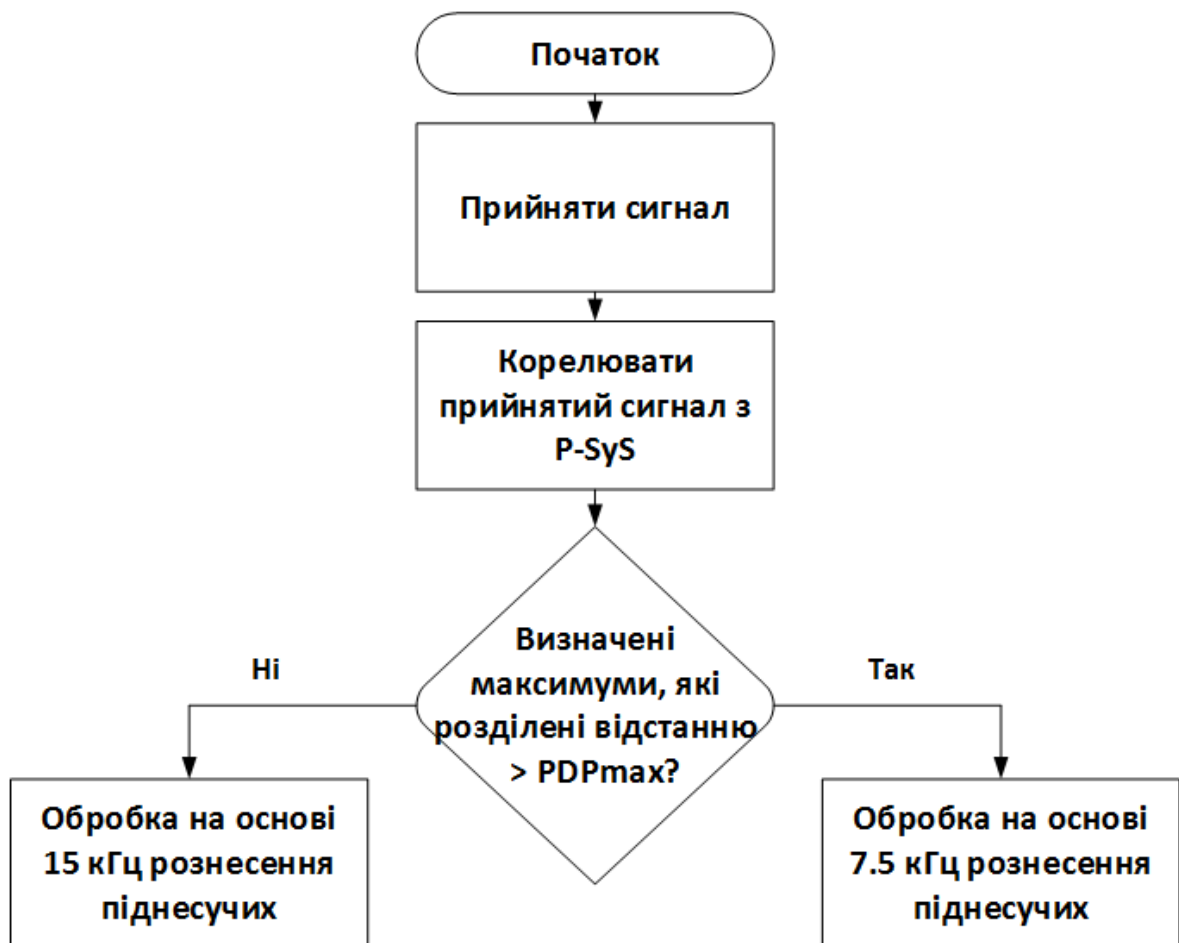


Рисунок 2.16 – Блок-схема етапів, згідно поліпшеного методу ідентифікації рознесення піднесучих

2 Спосіб за пунктом 1, в якому радіоінтерфейс системи стільникового зв'язку використовує мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM); формування першого типу сигналу синхронізації містить відображення набору символів синхронізації,  $S_k$ ,  $0, k, N-1$ , на безперервний



набір з  $N$  піднесучих, причому кожна з  $N$  піднесучих має перше рознесення піднесучих; формування другого типу сигналу синхронізації містить відображення набору символів синхронізації,  $S_k$ , на набір піднесучих,  $n > 1$ , так що кожна  $n$ -на з  $n \cdot N$  піднесучих переносить один з  $N$  символів синхронізації, а решта з  $n \cdot N$  піднесучих переносять нульові значення, при цьому кожна з  $n \cdot N$  піднесучих має друге рознесення піднесучих.

3 Спосіб за пунктом 2, в якому  $n=2$ .

4 Спосіб за пунктом 1, в якому подання часової області другого типу сигналу синхронізації складається з двох примірників першого типу сигналу синхронізації.

5 Спосіб за пунктом 1, в якому перше рознесення піднесучих дорівнює 15 кГц; і друге рознесення піднесучих дорівнює 7,5 кГц.

6 Спосіб виявлення, яке з першого рознесення піднесучих і другого рознесення піднесучих використовується в даний момент в системі стільникового зв'язку, причому спосіб містить обробку прийнятого сигналу для вилучення з нього сигналу синхронізації; виявлення, містить уявлення часової області сигналу синхронізації тільки один примірник або безліч екземплярів першого типу сигналу синхронізації; і якщо подання часової області сигналу синхронізації містить тільки один екземпляр першого типу сигналу синхронізації, то використання першого рознесення піднесучих в одній або більше наступних операціях зв'язку; якщо подання часової області сигналу синхронізації містить більше одного примірника першого типу сигналу синхронізації, то використовують друге рознесення піднесучих в одній або більше наступних операціях зв'язку, при цьому відношення  $n$  між першим рознесенням піднесучих і другим рознесенням піднесучих дорівнює безлічі екземплярів.

7 Спосіб за пунктом 6, у якому виявлення, містить уявлення часової області сигналу синхронізації тільки один екземпляр першого типу сигналу синхронізації, містить формування результатів кореляції шляхом корелювання прийнятого сигналу з першим типом сигналу синхронізації; визначення, чи

включають результати кореляції окремі максимуми, розділені в часі наперед визначеною величиною.

8 Спосіб за пунктом 6, у якому виявлення, містить уявлення часової області сигналу синхронізації тільки один екземпляр першого типу сигналу синхронізації, містить формування результатів кореляції шляхом корелювання прийнятого сигналу з затриманої копією прийнятого сигналу, при цьому величина затримки, використовується для формування затриманої копії прийнятого сигналу, що відповідає часовому періоду першого типу сигналу синхронізації; визначення, чи включають результати кореляції окремий максимум.

9 Спосіб за пунктом 6, у якому перше рознесення піднесучих дорівнює 15 кГц; і друге рознесення піднесучих дорівнює 7,5 кГц.

10 Пристрій для вказівки, яке з першого рознесення піднесучих і другого рознесення піднесучих використовується в даний момент в системі стільникового зв'язку, причому спосіб містить логіку, яка реагує на перше рознесення піднесучих, що використовується в даний момент, шляхом формування першого типу сигналу синхронізації; логіку, яка реагує на друге рознесення піднесучих, що використовується в даний момент, шляхом формування другого типу сигналу синхронізації; і логіку, яка передає будь-який з сформованих першого типу сигналу синхронізації і другого типу сигналу синхронізації. При цьому подання часової області другого типу сигналу синхронізації включає в себе безліч екземплярів першого типу сигналу синхронізації, при цьому зазначена множина дорівнює відношенню  $n$  між першим рознесенням піднесучих і другим рознесенням піднесучих.

11 Пристрій по пункту 10, в якому радіоінтерфейс системи стільникового зв'язку використовує мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM). Логіка, яка формує перший тип сигналу синхронізації, містить логіку, яка відображає набір  $k$  символів синхронізації,  $0 \leq k \leq N-1$ , на безперервний набір  $N$  піднесучих, причому кожна з  $N$  піднесучих має перше рознесення піднесучих; і логіку, яка формує другий тип сигналу синхронізації, містить логіку, яка

відображає набір  $S_k$  символів синхронізації на набір з  $n \cdot N$  піднесучих,  $n > 1$ , так що кожна  $n$ -на з  $n \cdot N$  піднесучих переносить один з  $N$  символів синхронізації, а решта  $n \cdot N$  піднесучих переносять нульові значення, при цьому кожна з  $n \cdot N$  піднесучих має друге рознесення піднесучих.

12 Пристрій за пунктом 11, в якому  $n=2$ .

13 Пристрій по пункту 10, в якому подання часової області другого типу сигналу синхронізації складається з двох примірників першого типу сигналу синхронізації.

14 Пристрій по пункту 10, в якому перше рознесення піднесучих одно 15 кГц; і друге рознесення піднесучих дорівнює 7,5 кГц.

15 Пристрій для виявлення, яке з першого рознесення піднесучих і другого рознесення піднесучих використовується в даний момент в системі стільникового зв'язку, причому спосіб містить логіку, яка обробляє прийнятий сигнал для вилучення з нього сигналу синхронізації. Також містить логіку, яка виявляє, містить уявлення часової області сигналу синхронізації тільки один примірник або безліч екземплярів першого типу сигналу синхронізації; і логіку, яка використовує перше рознесення піднесучих в одній або більше наступних операціях зв'язку, якщо подання часової області сигналу синхронізації містить тільки один екземпляр першого типу сигналу синхронізації; і логіку, яка використовує друге рознесення піднесучих в одній або більше наступних операціях зв'язку, якщо подання часової області сигналу синхронізації містить більш ніж один примірник першого типу сигналу синхронізації, при цьому відношення  $n$  між першим рознесенням піднесучих і другим рознесенням піднесучих дорівнює множині екземплярів.

16 Пристрій за пунктом 15, у якому логіка, яка виявляє, містить уявлення часової області сигналу синхронізації тільки один екземпляр першого типу сигналу синхронізації. Містить також логіку, яка формує результати кореляції шляхом корелювання прийнятого сигналу з першим типом сигналу синхронізації; і логіку, яка визначає, чи включають результати кореляції окремі максимуми, розділені в часі наперед визначеною величиною.

17 Пристрій за пунктом 15, у якому логіка, яка виявляє, містить уявлення часової області сигналу синхронізації тільки один екземпляр першого типу сигналу синхронізації. Містить логіку, яка формує результати кореляції шляхом корелювання прийнятого сигналу з затриманою копією прийнятого сигналу, при цьому величина затримки, використовувана для формування затриманої копії прийнятого сигналу, що відповідає часовому періоду першого типу сигналу синхронізації; і логіку, яка визначає, чи включають результати кореляції окремий максимум.

18 Пристрій за пунктом 15, в якому перше рознесення піднесучих дорівнює 15 кГц; і друге рознесення дорівнює 7,5 кГц.

19 Спосіб зазначення, яке з першого рознесення піднесучих і другого рознесення піднесучих використовується в даний момент в системі стільникового зв'язку, причому спосіб містить у відповідь на перше рознесення піднесучих, що використовується в даний момент, формування першого типу сигналу синхронізації; у відповідь на друге рознесення піднесучих, що використовується в даний момент, формування другого типу сигналу синхронізації; та передачу будь-якого з сформованих першого типу сигналу синхронізації і другого типу сигналу синхронізації, при цьому подання часової області першого типу сигналу синхронізації включає в себе першу множину екземплярів основної хвильової форми. Подання часової області другого типу сигналу синхронізації включає в себе другу множину екземплярів основної хвильової форми; і перша множина не дорівнює другій множині.

20 Пристрій для вказівки, яке з першого рознесення піднесучих і другого рознесення піднесучих використовується в даний момент в системі стільникового зв'язку, причому пристрій містить логіку, конфігуровану для формування першого типу сигналу синхронізації у відповідь на перше рознесення піднесучих, що використовується в даний момент. Також містить логіку, конфігуровану для формування другого типу сигналу синхронізації у відповідь на друге рознесення піднесучих, що використовується в даний момент; і логіку, конфігуровану для передачі будь-якого з сформованих

першого типу сигналу синхронізації і другого типу сигналу синхронізації, при цьому подання часової області першого типу сигналу синхронізації включає в себе першу множину екземплярів основної хвильової форми; і подання часової області другого типу сигналу синхронізації включає в себе другу множину екземплярів основної хвильової форми; і перша множина не дорівнює другій множині.

21 Спосіб виявлення, яке з першого рознесення піднесучих і другого рознесення піднесучих використовується в даний момент в системі стільникового зв'язку, причому спосіб містить обробку прийнятого сигналу для вилучення з нього сигналу синхронізації; визначення, скільки примірників основної хвильової форми включено до подання часової області сигналу синхронізації. І якщо подання часової області сигналу синхронізації містить першу множину екземплярів основної хвильової форми, то використання першого рознесення піднесучих в одній або більше наступних операціях зв'язку; і якщо подання часової області сигналу синхронізації містить другу множину екземплярів основної хвильової форми, то використання другого рознесення піднесучих в одній або більше наступних операціях зв'язку, при цьому перша множина не дорівнює другій множині.

22 Пристрій для виявлення, яке з першого рознесення піднесучих і другого рознесення піднесучих використовується в даний момент в системі стільникового зв'язку, причому пристрій містить логіку, конфігуровану для обробки прийнятого сигналу, для вилучення з неї сигналу синхронізації; логіку, конфігуровану для визначення, скільки примірників основної хвильової форми включено до подання часової області сигналу синхронізації; і логіку, конфігуровану для використання першого рознесення піднесучих в одній або більше наступних операціях зв'язку, якщо подання часової області сигналу синхронізації містить першу множину екземплярів основної хвильової форми; і логіку, конфігуровану для використання другого рознесення піднесучих в одного або більше наступних операціях зв'язку, якщо подання часової області

сигналу синхронізації містить другу множину екземплярів основної хвильової форми, при цьому перша множина не дорівнює другій множині [20].

### 2.3 Опис імітаційної моделі «LTE Spreading and Modulation»

У системах мобільного зв'язку процес передавання сигналів пов'язаний з обробкою та перетворенням сигналів кількома функціональними блоками на передавальній та приймальній стороні. Істотну роль у процесі передавання відіграє також середовище розповсюдження радіохвиль, параметри якого можуть змінюватись під впливом природних та штучних факторів. Імітаційна модель за допомогою якої можна досліджувати процес функціонування реальної мережі має максимально точно враховувати вплив кожного чинника, що існує у реальній мережі. Застосування такої моделі дозволить прогнозувати як надійність та якість зв'язку, так і якість надання інформаційних послуг.

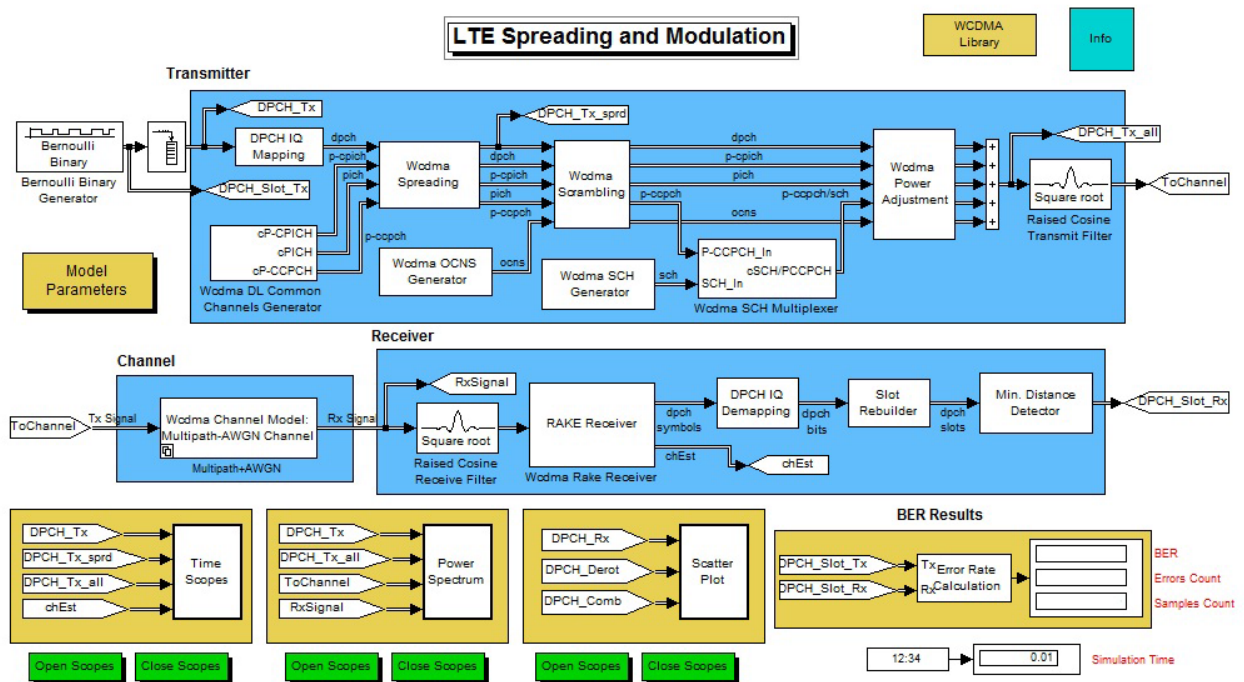


Рисунок 2.17 – Модель системи модуляції з розширенням спектру у виділеному фізичному каналі на лінії від базової станції до абонента

Об'єктом дослідження є модель системи модуляції з розширенням спектру у виділеному фізичному каналі на лінії від базової станції до абонента.

Зокрема досліджено модель «LTE Spreading and Modulation», що відноситься до класу моделей для імітування фізичних процесів у реальних системах (рисунок 2.17).

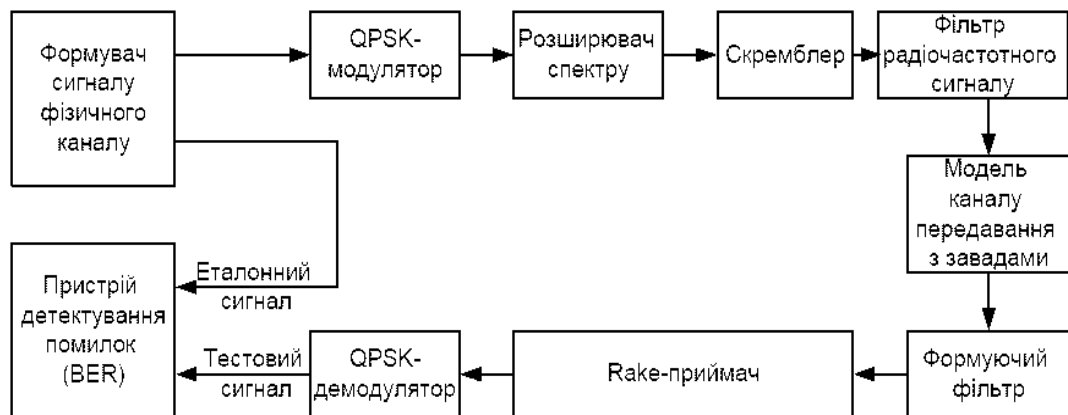
Спрощену структурну схему даної моделі наведено на рисунку 2.18.

Модель містить окремі модулі, кожен з яких є моделлю блоку, функціонального вузла або середовища розповсюдження. Для кожного модуля залежно від призначення передбачено можливість змінювати параметри або алгоритм обробки сигнального потоку. У разі необхідності проаналізувати можливість застосування інших способів модуляції, (відмінних від тих, що передбачено чинним стандартом) набір моделей окремих процесів можна доповнити відповідними моделями власної розробки.

Базова модель каналу передавання системи мобільного зв'язку третього покоління містить такі складові:

- модель формувача тестового сигналу DPCH, що є генератором випадкової сигнальної послідовності з біноміальним розподілом Бернуллі;
- модель блоку QPSK-модулятора;
- модель блоку розширення спектру шляхом використання ортогонального коду зі змінним коефіцієнтом;
- модель блоку скремблювання із застосуванням комплексної послідовності Голда;
- модель блоку фільтрування сигналу на виході передавача базової станції з АЧХ у вигляді кореня квадратного від припіднятого косинусу з коефіцієнтом згладжування рівним 0,22;
- модель середовища розповсюдження з адитивним Гаусовим шумом (AWGN) та можливістю імітації умов багатопроменевого розповсюдження з Релеєвським розподілом завмирань;
- модель блоку вхідного фільтру абонентського приймача з АЧХ оберненою до вихідного фільтра передавача базової станції для попереднього відновлення амплітуди модульованого сигналу;

- модель Rake-приймача, яка компенсує вплив багатопроменевого поширення сигналів у каналі передавання, здійснює дешифрування та відновлення початкового спектру прийнятого сигналу;
- модель блоку демодулятора QPSK сигналів;
- вимірювач частоти появи бітових помилок прийнятих даних у порівнянні з переданими даними [21].



*Рисунок 2.18 – Структурна схема моделі каналу передавання сигналів від базової станції до абонента системи мобільного зв'язку третього покоління*

### 2.3.1 Вибір умов функціонування абонентської лінії та налаштування імітаційної моделі

У стандарті зазначені вимоги до параметрів приймача абонентського терміналу та структура тестового сигналу стандарту LTE, а також параметри фізичного каналу на лінії «вниз», за яких можна буде забезпечити гарантовану якість зв'язку.

Виходячи із вимог стандарту, основним інтегральним параметром для оцінювання якості реалізації аналогової частини приймача та функціонування каналу зв'язку в цілому є імовірність приймання помилкового біта інформації – Bit Error Ratio (BER).

Для з'ясування особливостей використання імітаційної моделі і дослідження функціонування абонентської лінії системи мобільного зв'язку



третього покоління розглянуто процес передавання інформації сигналу із відповідними бітовими швидкостями:

- мова, 12,2 кбіт/с;
- дані (доступ до сторінок в мережі Інтернет), 64 кбіт/с;
- дані мультимедіа (якісний потоковий звук), 144 кбіт/с;
- високоякісний потоковий звук, передавання відеофайлів невеликого об'єму, або потокове відео з низькою роздільною здатністю, 384 кбіт/с.

В ході комп'ютерного моделювання зроблено припущення, що цифрова частина приймача і канал поширення сигналу є ідеальними, і процеси аналого-цифрового перетворення не є джерелом помилок [22].

Вимірювання імовірності виникнення помилкового біта інформації під час передавання сигналу радіоканалом здійснено віртуальним пристроєм для детектування помилок (BER). На один із його входів надходить тестовий сигнал, який пройшов каналом зв'язку та аналоговою частиною приймача, а на інший – опорний сигнал виділеного фізичного каналу DPCН безпосередньо з виходу генератора.

Під час моделювання з використанням моделі «LTE Spreading and Modulation» можна змінювати такі параметри моделі:

- умови поширення сигналів (вибір кількості променів, що одночасно надходять на абонентський приймач);
- відношення сигнал/шум у каналі передавання (С/Ш), дБ;
- кількість кореляторів, що активуються у RAKE-приймачі (в залежності від характеристик прийнятого сигналу);
- відносну затримку прийнятих сигналів, нс;
- швидкість пересування мобільної абонентської станції, км/год. [23]

Для спрощення досліджень у моделі передбачено кілька (сім) умов функціонування абонентської лінії зв'язку. Ці умови охарактеризовано певним набором параметрів (Профілями):

1 Абонентський термінал нерухомий, в каналі діє білий адитивний гаусів шум (Профіль 1), багатопроменевість поширення радіохвиль відсутня.

2 Абонентський термінал рухається зі швидкістю пішохода, на приймач надходять один прямий та один відбитий сигнал малої потужності з незначною затримкою (Профіль 2).

3 Абонентський термінал рухається зі швидкістю пішохода, на приймач надходять один прямий та два потужних відбитих сигнали з різною затримкою (Профіль 3).

4 Абонентський термінал рухається, на приймач надходять один прямий та три відбитих сигнали з різною затримкою та різної потужності (Профіль 4).

5 Абонентський термінал рухається зі швидкістю пішохода, на приймач надходять один прямий та один відбитий сигнал великої потужності з незначною затримкою (Профіль 5).

6 Абонентський термінал рухається з середньою швидкістю автомобіля у місті, на приймач надходять один прямий та один відбитий сигнал малої потужності з незначною затримкою (Профіль 6).

7 Абонентський термінал рухається з граничною для системи зв'язку швидкістю, на приймач надходять один прямий та три відбитих сигнали з різною затримкою та різної потужності (Профіль 7).

Параметри моделі для зазначених умов (профілів) наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри моделі для уніфікованих умов поширення сигналів

Профіль	Кількість кореляторів	Відносна затримка прийнятих сигналів, нс	Середні потужності прийнятих сигналів, дБ	Швидкість мобільного терміналу, км/год.
Профіль 1	1	0	0	0
Профіль 2	2	0; 976	0; -10	3
Профіль 3	3	0; 976; 20000	0; 0; 0	3
Профіль 4	4	0; 260; 512; 781	0; -3; -6; -9	120
Профіль 5	2	0; 976	0; 0	3
Профіль 6	2	0; 976	0; -10	50
Профіль 7	4	0; 260; 521; 781	0; -3; -6; -9	250

### 2.3.2 Результати моделювання

Описану вище модель було використано з метою визначити ймовірність появи помилкового біта прийнятого сигналу як функції відношення сигнал/шум в каналі зв'язку для різних профілів поширення радіохвиль за умови передавання різних типів мультимедійної інформації. Обраний діапазон зміни відношення сигнал/шум знаходиться у межах 0...20 дБ. Мінімальне значення цього діапазону обумовлює ситуацію, за якої зв'язок неможливий, а максимальне – за якої якість зв'язку є відповідною рівню суб'єктивної оцінки «відмінно».

За результатами моделювання побудовано графіки залежностей ймовірності появи помилкового біта (BER) як функції відношення сигнал/шум (С/Ш) в каналі передавання інформації (рисунки 2.19–2.22).

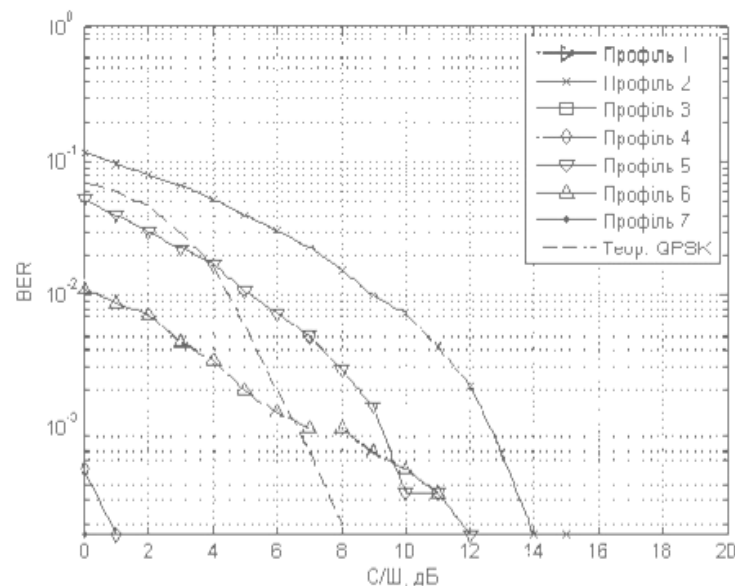


Рисунок 2.19 – Графік залежності ймовірності появи помилкового біта від відношення сигнал/шум для швидкості сигнального потоку 12.2 кбіт/с

Характерною ознакою отриманих графіків є подібність функціональної залежності для відповідних профілів поширення повідомлень.

Розглянемо детально рисунок 2.20, оскільки він ілюструє випадок з найменшою швидкістю передавання даних.

З графіків видно, що профіль 1 є ілюстрацією ідеального випадку поширення сигналів повідомлень, коли багатопроменеве поширення відсутнє, тому нульова ймовірність помилкового біта є виправданою.

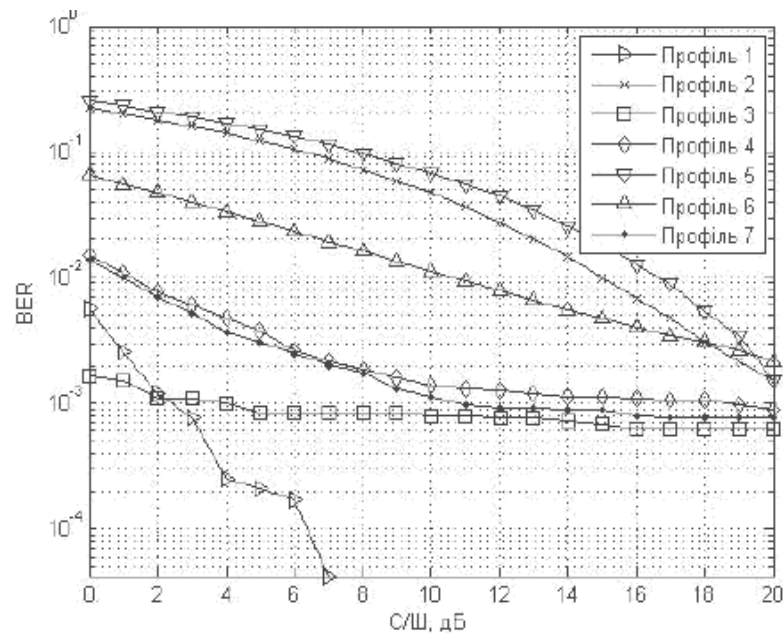


Рисунок 2.20 – Графік залежності ймовірності появи помилкового біта від відношення сигнал/шум для швидкості сигнального потоку 64 кбіт/с

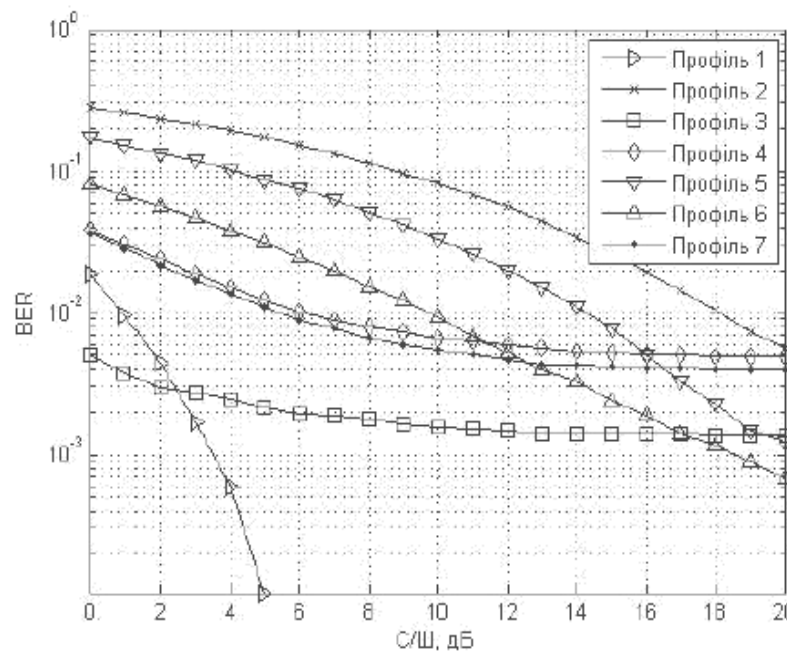
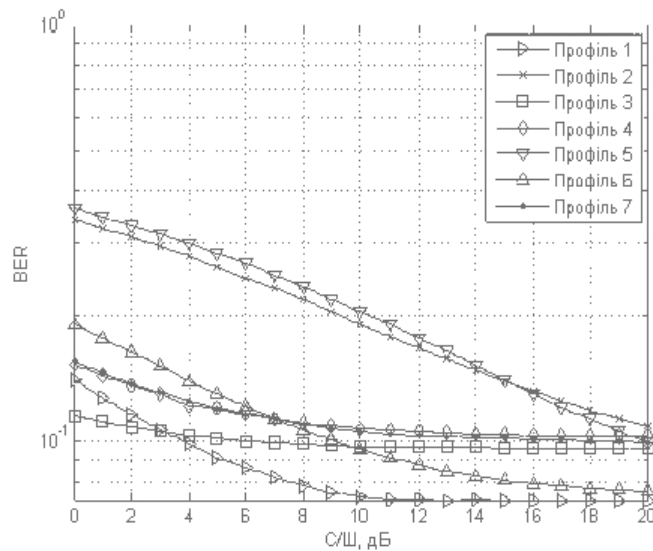


Рисунок 2.21 – Графік залежності ймовірності появи помилкового біта від відношення сигнал/шум для швидкості сигнального потоку 144 кбіт/с

Найгірші результати отримано для профілів 2, 5 та 6, що відповідають випадкам, коли на рухомий або нерухомий приймач надходить один прямий та один відбитий сигнал, в Rake-приймачі застосовано 2 корелятори.



*Рисунок 2.22 – Графік залежності ймовірності появи помилкового біта від відношення сигнал/шум для швидкості сигнального потоку 384 кбіт/с*

Найкращі результати отримано для профілів 3, 4 та 7, ймовірність появи помилкового біта для яких є дуже малою (графіки для цих профілів не потрапили у діапазон BER, за якого має місце погіршення якості зв'язку).

Відомо, що ефективність роботи Rake-приймача підвищується зі збільшенням кількості застосованих кореляторів, адже додаткові корелятори краще розділяють багатопроменеві сигнальні компоненти для подальшого їх комбінування.

Зазвичай у приймачі мобільного телефону використовують 3-4 корелятори. Тому більш цікавими є результати для профілів 3, 4 та 7.

Відповідно до концепції забезпечення якості послуг (QoS) стандарту LTE, ймовірність появи помилкового біта не має перевищувати  $10^{-3} \dots 10^{-7}$ . Якщо проаналізувати отримані розрахункові графіки, можна зробити висновок, що ця вимога виконується для будь-яких відношень сигнал/шум тільки у випадку передавання мови для профілів 1, 3, 4 та 7 (відсутність багатопроменевого поширення, на приймач надходять один прямий та два або три відбитих сигнали).

У роботі побудовано графік залежності ймовірностей появи прийнятого помилкового біта від відношення сигнал/шум (SNR) у випадку, коли мобільний термінал є нерухомим, пунктирна крива на рисунку 2.19. Як видно з графіків

теоретичні розрахунки повністю співпадають із результатами, отриманими шляхом моделювання з використанням моделі Matlab, а отже можна зробити припущення, що дану модель доцільно застосовувати для дослідження властивостей системи мобільного зв'язку LTE. Для остаточної оцінки самої моделі порівняємо час ідентифікації рознесення піднесучих в стільниковій системі зв'язку. За умов використання стандартного алгоритму програми час на ідентифікацію рознесення піднесучих в середньому складає 500 мкс з урахуванням захисних інтервалів. При використанні синтезу алгоритма час на ідентифікацію зменшується до 485 мкс. Дане поліпшення дозволяє на 3 % ( $1 - 485/500$ ) зменшити час пошуку чарунки і зрозуміти яке з першого рознесення піднесучих (наприклад, 15 кГц) і другого рознесення піднесучих (наприклад, 7,5 кГц) в поточний час використовується в системі стільникового зв'язку.

#### 2.4 Висновок

Модель дозволяє зробити оцінку якості функціонування системи LTE на лінії від базової станції до абонента шляхом визначення ймовірності надходження помилкового інформаційного біта інформації для різноманітних параметрів, що характеризують функціонування реального каналу зв'язку.

Для зручності користування моделлю під час планування мережі мобільного зв'язку передбачено уніфіковані набори параметрів (профілі), що відображають найбільш характерні умови функціонування радіочастотного каналу.

В умовах дослідження був змінений час на ідентифікацію рознесення піднесучих, що дозволило зменшити час пошуку чарунки на 3% без втрат пропускну здатності і без зміни якості зв'язку.

Побудовані графіки 2.19-2.22 доводять, що при зменшенні часу на ідентифікацію рознесення піднесучих, показники BER і сигнал/шум залишились такими, як і були у системі без зміни часу.

### РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі проводяться економічні розрахунки витрат на дослідження та розробку алгоритму розподілу піднесучих в системі мобільного зв'язку LTE, моделювання проводяться в середовищі Matlab. Таким чином з'явиться можливість зменшити час пошуку чарунки близько 3 % без втрат якості зв'язку.

#### 3.1 Особливості розробки алгоритму та моделювання

Розробка і моделювання алгоритму є складним процесом, який має специфічні особливості. Його розробка, створення і апробація здійснюються за фазами життєвого циклу. Він включає три стадії: розробка (проектування), моделювання (створення) і використання (оцінка ефективності розробленої експериментальної моделі). Кожна стадія поділяється на етапи:

- проектування;
- реалізація;
- тестування і випробування алгоритму;
- аналіз результатів тестування.

Виходячи з часу виконання дипломного проектування, був розроблений графік виконання завдання. Діаграма розподілу часу виконання робіт представлена на рисунку 3.1.

До етапу «проектування» відноситься аналіз технічного завдання на розробку але, перш за все, аналіз та дослідження методів та алгоритмів пошуку чарунки (соти) в системі мобільного зв'язку. З пояснювальної записки сюди потрібно віднести написання вступу і першого розділу.

До етапу «реалізація» відносяться вдосконалення алгоритму розподілу піднесучих в системі мобільного зв'язку LTE. З пояснювальної записки на цьому етапі проводиться написання другого розділу.

На етапі «тестування» проводиться побудова імітаційної моделі «LTE Spreading and Modulation».

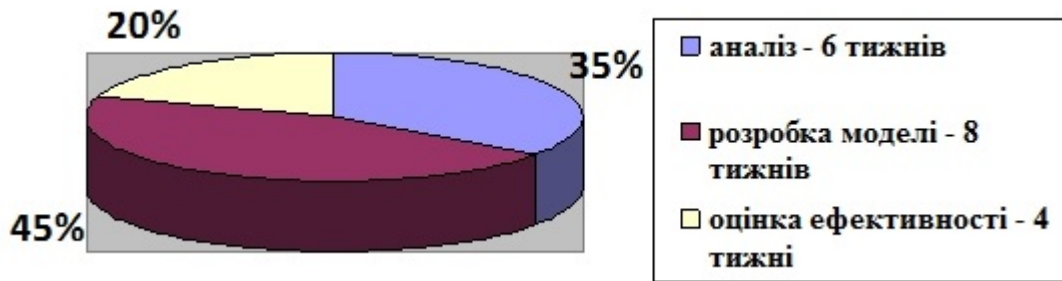


Рисунок 3.1 – Діаграма розподілу часу виконання робіт

### 3.2 Визначення трудомісткості розробки алгоритму розподілу піднесучих в системі мобільного зв'язку LTE

Трудомісткість продукції – показник, який характеризує витрати робочого часу на виробництво будь-якої споживчої вартості або на виконання конкретної технологічної операції.

Трудомісткість розробки алгоритму можливо розрахувати по формулі:

$$t = t_o + t_A + t_{\text{Л}} + t_P + t_H + t_{\text{Д}}, \text{ год.}, \quad (3.1)$$

де  $t_o$  – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

$t_A$  – аналіз методів та алгоритмів пошуку чарунки (соти) в системі мобільного зв'язку;

$t_{\text{Л}}$  – тривалість вивчення літературних джерел за темою тощо;

$t_P$  – витрати праці на розробку алгоритму;

$t_H$  – витрати праці на побудову імітаційної моделі «LTE Spreading and Modulation»;

$t_{\text{Д}}$  – витрати праці на оформленням документації (за умови роботи однієї людини).

Оцінка витрат праці на кожен показник залежить від конкретних умов і визначається тривалістю окремого робочого процесу (табл. 3.1). Зважаючи на той факт, що дослідження, пов'язані з обробкою складних сигналів в телекомунікаційних системах, охоплюють великий пласт інформації, приймаємо:



Таблиця 3.1 – Тривалість робочих процесів

Назва робочого процесу	Тривалість, год.
підготовка і опис поставленого завдання	$t_o = 4$
аналіз методів та алгоритмів пошуку чарунки (соти) в системі мобільного зв'язку	$t_A = 30$
вивчення літературних джерел	$t_L = 90$
розробка алгоритму	$t_P = 20$
побудова імітаційної моделі «LTE Spreading and Modulation»	$t_H = 19$
підготовка документації по завданню	$t_D = 15$

Таким чином, визначивши трудомісткість окремих показників, розрахуємо сумарну трудомісткість розробки експериментальної моделі по формулі 3.1:

$$t = 4 + 30 + 90 + 20 + 19 + 15 = 178, \text{ год.}$$

### 3.3 Розрахунок витрат на розробку алгоритму

Витрати на розробку алгоритму  $K_{EK}$  включають витрати на заробітну плату інженерів телекомунікацій  $З_{ЗП}$  і вартість машинного часу  $З_{МЧ}$ , необхідного для розробки алгоритму та імітаційної моделі, і розраховуються за формулою:

$$K_{IM} = З_{ЗП} + З_{МЧ}, \text{ грн.} \quad (3.2)$$

Заробітна плата – винагорода, обчислена, у грошовому виразі, яку за трудовим договором власник або уповноважений ним орган виплачує працівникові за виконану ним роботу. Розмір зарплати залежить від складності та умов виконуваної роботи, професійно-ділових якостей працівника, результатів його праці та господарської діяльності підприємства.

Заробітна плата виконавців визначається за формулою:

$$Z_{зп} = t \cdot C_{зп}, \text{ грн.} \quad (3.3)$$

де  $t$  – загальна трудомісткість розробки алгоритму та імітаційної моделі, яка визначається за формулою 3.1, годин;

$C_{зп}$  – середньогодинна заробітна плата інженера в галузі телекомунікацій, (основна і додаткова), з урахуванням відрахувань на соціальні потреби, грн/годину.

Визначення мінімальної середньої годинної оплати інженера телекомунікацій обчислюється з урахуванням 8-ми годинного робочого графіку на добу і 5-ти денної робочої неділі, та знаючи його середній щомісячний оклад.

На 01.12.2017 року оклад складає 4300 грн. Єдиний соціальний внесок складає 22%, тобто 924 грн. Отже, з урахуванням премій (20%), можливих надбавок (10%) і відрахувань на соціальні потреби, заробітна плата інженера телекомунікацій складає 6514 грн.

Таким чином, середня заробітна плата за одну годину роботи становить:

$$C_{зп} = 6514 / 176 = 37, \text{ грн / год.}$$

Таким чином, витрати на оплату праці розробника, з урахуванням формули 3.3, складають:

$$Z_{зп} = 178 \cdot 37 = 6588, \text{ грн.}$$

Розрахунок вартості машинного часу, необхідного для розробки алгоритму та імітаційної моделі включає витрати на необхідне програмне та апаратне забезпечення і витрати на електроенергію, і здійснюється за формулою 3.4:

$$Z_{мч} = C_o + C_{ел}, \text{ грн.,} \quad (3.4)$$

де  $C_o$  – витрати на обладнання. Відповідні дані наведені в таблиці 3.2;

$C_{ел}$  – витрати на електроенергію, грн.

Таблиця 3.2 – Вартість необхідного програмного та апаратного забезпечення

Найменування	Вартість, грн
Ноутбук HP Pavilion g5-1311SE	4500,00
Миша Assero 68007-BK	178,00
Операційна система Windows 8.1 64-bit	2423,00
Matlab 7	4200,00
Разом:	11301,00

Витрати на електроенергію ( $C_{EL}$ ) залежать від часу роботи на ЕОМ ( $T_{EOM}$ ) та собівартості машино-години роботи ЕОМ ( $C_{MЧ}$ ), і розраховується за формулою:

$$C_{EL} = C_{MЧ} \cdot T_{EOM}, \text{ грн.} \quad (3.5)$$

Розрахунок вартості машино-години ЕОМ проведемо по формулі 3.6:

$$C_{MЧ} = W \cdot \Pi_{EL}, \text{ грн/год.}, \quad (3.6)$$

Де  $W$  – потужність ЕОМ,  $W=0,5 \text{ кВт/год.}$ ;

$\Pi_{EL}$  – вартість 1кВт за годину електроенергії.

Поточні тарифи на електроенергію для населення України, встановлені відповідно до постанови НКРЕКУ України № 220 від 01.03.2017 року (діючі з 1 березня 2017 року) представлені на рисунку 3.2.

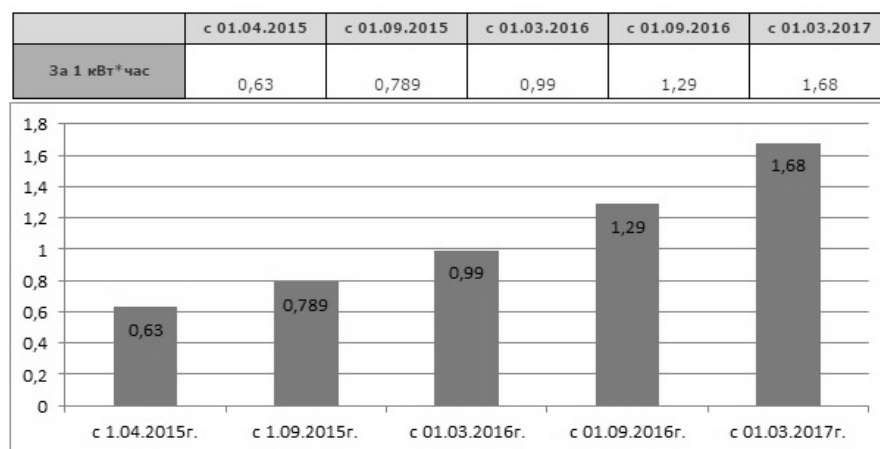


Рисунок 3.2 – Тарифи на електричну енергію, для технічних цілей, яка витрачається в багатоквартирних будинках та гуртожитках.

Таким чином, вартість машино-години ЕОМ за формулою 3.6 складе:

$$C_{мч} = 0.5 \cdot 1.68 = 0.84, \text{ грн / год.}$$

Час роботи на ЕОМ складає фактичні витрати часу на розробку алгоритму та імітаційної моделі. Згідно з рисунком 3.1, тривалість зайняла 18 тижнів або 126 днів. З урахуванням того, що ЕОМ працювала в середньому по 5 годин на добу отримуємо:

$$T_{ЕОМ} = 126 \cdot 5 = 630 \text{ год.}$$

Таким чином вартість електроенергії, за формулою 3.5, складатиме:

$$C_{ел} = 0.84 \cdot 630 = 529, \text{ грн.}$$

Враховуючи відому вартість витрат на обладнання та витрачену електроенергію проведемо розрахунок вартості машинного часу, який є необхідним для розробки алгоритму та імітаційної моделі на ЕОМ за формулою 3.4:

$$З_{мч} = 11300 + 529 = 11829, \text{ грн.}$$

Отже, витрати на вдосконалення алгоритму розподілу піднесучих в системі мобільного зв'язку LTE складають, виходячи з формули 3.2:

$$K_{пз} = 6588 + 11829 = 18417, \text{ грн.}$$

Визначені таким чином витрати на розробку алгоритму та імітаційної моделі є одноразовими капітальними витратами і складають 18417 грн.

Також до затрат треба віднести витрати на «матеріали», які враховують: витрати на носії даних, папір для друкувальних пристроїв і архівну обробку документації. В процесі розробки було потрібно:

- CD-диск вартістю 8 грн.;
- Аркуші паперу формату А4 для друку документації, вартість одного аркуша 0,6 грн. Загальна сума склала 55 грн.;
- Обкладинка документів, вартість за роботу 75 грн.

Загальна вартість витрат на матеріали складає:

$$З_{м} = 8 + 55 + 75 = 138, \text{ грн.}$$

Діаграма відображає вагу обчислених значень вартості розробки експериментальної (рис. 3.3)



Рисунок 3.3 – Склад витрат на вдосконалення алгоритму розподілу піднесучих в системі мобільного зв'язку LTE

### 3.4 Висновок

В економічному розділі розраховано час, що необхідний для вдосконалення алгоритму розподілу піднесучих в системі мобільного зв'язку LTE та формування імітаційної моделі «LTE Spreading and Modulation», заробітну плату робітників інженерів телекомунікацій, затрати на матеріали. Встановлено, що затрати на розробку алгоритму та імітаційної моделі складають 18555 грн.

## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі було проаналізовано технологію мультиплексування з ортогональним частотним поділом (OFDM), послугу широкомовної передачі (MBMS), операцію «одночастотної мережі» (SFN).

В ході моделювання в програмному середовищі Matlab був розглянутий існуючий метод ідентифікації рознесення піднесучих в стільниковій системі зв'язку. Дослідження показало, що в середньому пошук чарунки з урахуванням захисних інтервалів займає 500мкс, що є суттєвим недоліком системи в цілому. Запропонований поліпшений варіант даного алгоритму. Синтез алгоритму рознесення піднесучих дозволяє на 3% зменшити час пошуку чарунки без втрат якості системи зв'язку. Також система «LTE Spreading and Modulation» дозволяє зрозуміти яке з першого рознесення піднесучих (наприклад, 15 кГц) і другого рознесення піднесучих (наприклад, 7,5 кГц) в поточний час використовується в системі стільникового зв'язку. Швидкість передачі даних, у тому числі мультимедіа, не змінилася. За результатами моделювання побудовано графіки залежностей ймовірності появи помилкового біта (BER) як функції відношення сигнал/шум (С/Ш) в каналі передавання інформації. Якщо проаналізувати отримані розрахункові графіки, можна зробити висновок, що ця вимога виконується для будь-яких відношень сигнал/шум.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Телекоммуникационные системы и сети (Электрон. ресурс) / Способ доступа: URL: <http://www.khai.edu/page.php?pid=144>.
- 2 Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Минаев И.В. Стандартизация, спецификации, эволюция технологии и архитектура базовой сети LTE // Сети и средства связи, № 2 (10), 2009. – 379с.
- 3 Печаткин А. Системы мобильной связи. Часть 1. Принципы организации, функционирования и частотного планирования систем мобильной связи, РГТА-2008. – 486с.
- 4 Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения Серия изданий «Связь и бизнес», М.: 2000. – 208с.
- 5 Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. – 389с.
- 6 Громаков Ю.А., Поповский А.В. Технологии определения местоположения абонентов в системах сотовой связи второго и третьего поколений // Мобильные системы. – 2003. – №12.
- 7 Адрианов В.И. Сотовые, пейджинговые и спутниковые средства связи / Адрианов В.И., Соколов А.В.- СПб.: BHV - Санкт-Петербург; Арлит, 2001. – 249с.
- 8 Ортогональное частотное разделение со многими поднесущими (OFDM) (Электрон. ресурс) / Способ доступа: URL:<http://siblec.ru/index.php?dn=html&way=bW9kL2h0bWwvY29udGVudC84c2VtLzA3NS8yLTQtMy5odG0>.
- 9 Закиров З.Г., Файзуллин Р.Р., Надев А.Ф. Системы сотовой связи стандарта GSM. Современное состояние, переход к сетям третьего поколения. – М.: Эко-трендз, 2004. – 256с.
- 10 Корсунский А.В. Технологии и платформы определения местоположения – к старту готовы? // Мобильные телекоммуникации. – 2003. – №1.

11 Широковещательная передача данных MBMS (Электрон. ресурс)/  
Способ доступа: URL: <http://1234g.ru/3g/shirokoveshchatelnaya-peredacha-dannykh-mbms>.

12 Одночастотные сети вещания в стандарте DVB-T (Электрон. ресурс)/  
Способ доступа: URL: <http://www.konturm.ru/tech.php?id=ods>.

13 Одночастотные сети–преимущества и особенности построения  
(Электрон. ресурс) / Способ доступа: URL: <http://www.television.ru/stati/17-statii-ob-oborudovanii-television/26-odnochastotnye-seti-preimushchestva-i-osobennosti-postroeniia>.

14 Ипатов В.П., Орлов В.К., Самойлов И.М., В.Н. Системы мобильной связи: учебное пособие для вузов; под ред. Ипатова В.П. - М.: Горячая линия - Телеком, 2003. – 272 с.: ил.

15 Карташевский В.Г. Сети подвижной связи / В.Г. Карташевский, С.Н. Семенов, Т.В. Фирстова. - М.: Эко-Трендз, 2001. – 316с.

16 Тепляков И.М. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: учебное пособие / И.М. Тепляков. - М.: Радио и связь, 2004. – 328 с.

17 Ханцо Л.Л., Блох Дж. Системы радиодоступа 3G, HSPA и FDD в сравнении с технологией TDD /При поддержке ОАО «Концерн «Созвездие» пер. с англ. Бирюкова Н.Л. под ред. к.т.н. Сорокина В.И. – 2008. –209с.

18 Ксенофонтов С.Н. Направляющие системы электросвязи: учебное пособие для вузов / Ксенофонтов С.Н., Портнов Э.Л. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004. – 268 с.

19 Листрова Л.В., Могилев А. В. Средства информатизации: Телекоммуникационные технологии. – 2009. – 152с.

20 Ерохин Г.А., Чернышов О.В., Козырев Н.Д. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов /; под. ред. Ерохина Г.А. - 2-е изд., испр. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004. - 491 с.

21 Кирилов В.И. Многоканальные системы передачи: учебник / Кирилов В.И. - 2-е изд. - М.: Новое знание, 2003. – 751 с.: ил.



22 Анин Б.Ю. Защита компьютерной информации / Анин Б.Ю. - СПб.: ВНУ - Санкт-Петербург, 2000. – 281с.

23 Камаев В.Д. Экономическая теория - Учебник для ВУЗов - 2003. – 215с.

24 Закон Украины «О телекоммуникациях» от 18.11.2003 № 1280-IV(с изменениями и дополнениями).

## ДОДАТОК А. Перелік матеріалів дипломної роботи

- 1 Титульна сторінка.doc
- 2 Завдання.doc
- 3 Реферат.doc
- 4 Список умовних скорочень.doc
- 5 Зміст.doc
- 6 Вступ.doc
- 7 Розділ 1.doc
- 8 Розділ 2.doc
- 9 Розділ 3.doc
- 10 Висновки.doc
- 11 Список використаної літератури.doc
- 12 Додаток А.doc
- 13 Додаток Б.doc
- 14 Додаток В.doc
- Презентація.pptx

**ДОДАТОК Б. Відгуки керівників розділів****Б.1 Відгук керівника економічного розділу**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Керівник розділу

---

(підпис)

---

(ініціали, прізвище)

## **ДОДАТОК В. ВІДГУК**

### **на дипломну роботу магістра на тему:**

**«Вдосконалення алгоритму розподілу піднесучих в системі мобільного зв'язку LTE»**

**студента групи 172м-16-1**

**Колесник Артем Сергійович**

Дипломна робота студента Колесника А.С. представлена пояснювальною запискою на \_\_\_ стор., містить \_\_\_ рис., \_\_\_ табл., \_\_\_ додатків, \_\_\_ джерел.

Метою даної дипломної роботи є синтез алгоритму розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE).

У ході виконання роботи були вирішені наступні завдання: аналіз технології мультиплексування з ортогональним частотним розділенням (OFDM), LTE, визначений їх вплив на скорочення часу пошуку соти; аналіз послуги широкомовної/групової передачі (MBMS), а також операції "одночастотної мережі" (SFN); дослідження методів пошуку соти в системі мобільного зв'язку в програмі Matlab, запропонований синтез алгоритму розподілу піднесучих.

В економічному розділі виконаний розрахунок капітальних, експлуатаційних витрат на удосконалення алгоритму розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE).

За час дипломування Колесник А.С. проявив здатність до самостійної роботи.

В цілому дипломна робота виконана у відповідності до вимог, які пред'являються до дипломних робіт магістрів і заслуговує оцінки “\_\_\_\_\_”.

Керівник дипломної роботи,

д.т.н., проф.

В.І. Корнієнко

## **РЕЦЕНЗІЯ**

**на дипломну роботу магістра на тему:**

**«Вдосконалення алгоритму розподілу піднесучих в системі мобільного зв'язку LTE»**

**студента групи 172м-16-1**

**Колесник Артем Сергійович**

Пояснювальна записка складається зі вступу, трьох розділів і висновків, розташованих на \_\_\_\_ сторінках, та містить \_\_\_\_ рисунків, \_\_ таблиць і \_\_ джерел.

Метою даної дипломної роботи є синтез алгоритму розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE).

У ході виконання роботи були вирішені наступні завдання: аналіз технології мультиплексування з ортогональним частотним розділенням (OFDM), LTE, визначений їх вплив на скорочення часу пошуку соти; аналіз послуги широкомовної/групової передачі (MBMS), а також операції "одночастотної мережі" (SFN); дослідження методів пошуку соти в системі мобільного зв'язку в програмі Matlab, запропонований синтез алгоритму розподілу піднесучих.

В економічному розділі виконаний розрахунок капітальних, експлуатаційних витрат на удосконалення алгоритму розподілу піднесучих в стільниковій системі зв'язку (LTE).

В цілому дипломна робота виконана у відповідності до вимог, які пред'являються до дипломних робіт магістрів і заслуговує оцінки “\_\_\_\_\_”.

**Рецензент**